

**KAKSIKERROKSISEN PUURAKENTEISEN  
TILAELEMENTTITALON RAKENNELASKELMAT SUOMESSA,  
RUOTSISSA JA NORJASSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, rakennustekniikan koulutusohjelma

Kevät 2018

Anna Pekkala

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Anna Pekkala	<b>Vuosi</b> 2018
<b>Työn nimi</b>	Kaksikerroksisen puurakenteisen tilaelementtitalon rakenne- laskelmat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa	
<b>Työn ohjaaja</b>	Olli Ilveskoski	

---

TIIVISTELMÄ

Työn tilaaja ja toimeksiantaja oli Älvsbyhus-konserni, joka asetti opinnäytetyön tavoitteeksi selvittää, voiko tilaajan käytössä olevilla rakenneratkaisuilla toimittaa kaksikerroksisia tilaelementtirakenteisia pientaloja Suomeen, Ruotsiin ja Norjaan. Lisäksi tavoitteena oli laatia yhteenveto rakenteiden mitoitusta säätelevistä määräyksistä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa.

Työn teoriaosuus perustuu pääasiassa eurokoodistandardeihin EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4 ja EN 1995 sekä niiden kansallisiin liitteisiin. Laskelmat on tehty Suomen osalta Finnwood 2.4 -ohjelmalla sekä Ruotsin ja Norjan osalta Statcon-ohjelmalla.

Toisen kerroksen toteuttaminen tilaelementtiratkaisuna ei osoittautunut kannattavaksi vaihtoehdoksi. Sen sijaan toinen kerros olisi järkevintä toteuttaa suurelementtiratkaisuna. Laskelmien perusteella voitiin kuitenkin todeta, että nykyisillä rakenteilla näyttäisi olevan mahdollista toteuttaa kaksikerroksisia pientaloja riittävän isolla markkina-alueella kaikissa kolmessa konsernin toimintamaassa. Työn ulkopuolelle jouduttiin kuitenkin jättämään asioita, joiden takia markkina-aluetta joudutaan mahdollisesti rajaamaan. Projekti jatkuu opinnäytetyön ulkopuolella.

**Avainsanat** pientalo, tilaelementtitalo, puurakentaminen, eurokoodit, kansalliset liitteet

**Sivut** 66 sivua, joista liitteitä 13 sivua

Degree Programme in Construction Engineering  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Anna Pekkala	<b>Year</b> 2018
<b>Subject</b>	Construction calculations for wooden modular detached houses in Finland, Sweden and Norway	
<b>Supervisor</b>	Olli Ilveskoski	

---

#### ABSTRACT

The Bachelor's thesis was commissioned by Älvsbyhus Group. The purpose of the thesis was to investigate whether it would be possible to produce wooden two-storey detached houses consisting of prefabricated modules with structural solutions available for the company. Another aim was to draw up a summary of the main building regulations governing wooden detached houses in Finland, Sweden and Norway.

The main theory used in the thesis is based on the Eurocodes EN 1990, EN 1991-1, EN 1991-3, EN 1991-4 and EN 1995 and their national annexes. The main calculations have been completed with Finnwood 2.4 programme for Finland and with Statcon programme for Sweden and Norway.

The results of the thesis show that the second floor consisting of prefabricated wooden elements would be a more efficient and more favourable solution than to build the second floor as modules. Nevertheless, based on the calculations, producing wooden detached houses in two floors seems preliminarily to be possible to implement with the structural solutions available for the company's markets in Finland, Sweden and Norway. Unfortunately, some remarkable issues could not be investigated during this project. These issues will be investigated in the future.

<b>Keywords</b>	Detached house, modular house, wooden construction, Eurocodes, national annexes
<b>Pages</b>	66 pages including appendices 13 pages

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	TYÖN TILAAJAN ESITTELY .....	1
2.1	Älvsbyhus-konserni .....	1
2.2	Liikeidea ja sen kehittyminen.....	2
2.3	Rakennusprosessin kuvaus.....	2
2.3.1	Tilaelementtien valmistus tehtaalla .....	2
2.3.2	Talon pystytys työmaalla .....	2
2.4	Käytössä olevat rakennetyypit ja rakenteiden liitokset .....	2
3	RAKENTAMISEN SÄÄNTELY JA PUURAKENTAMISTA EDISTÄVÄT TAHOT SUOMESSA, RUOTSISSA JA NORJASSA.....	3
3.1	Rakentamisen sääntely Suomessa .....	3
3.1.1	Rakentamisen säännökset ja ohjeet.....	3
3.1.2	Puurakentamista edistäviä tahoja Suomessa.....	3
3.2	Rakentamisen sääntely Ruotsissa .....	4
3.2.1	Rakentamisen säännökset ja ohjeet.....	4
3.2.2	Puurakentamista edistäviä tahoja Ruotsissa.....	4
3.3	Rakentamisen sääntely Norjassa .....	4
3.3.1	Rakentamisen säännökset ja ohjeet.....	4
3.3.2	Puurakentamista edistäviä tahoja Norjassa .....	5
4	KUORMAT .....	5
4.1	Kuormien luokittelu .....	5
4.2	Omapaino .....	6
4.3	Hyötykuormat .....	6
4.4	Lumikuormat .....	7
4.4.1	Lumikuorman luokittelu ja mitoitusolosuhteet .....	7
4.4.2	Maanpinnan lumikuorma .....	8
4.4.3	Katon lumikuorma .....	8
4.5	Tuulikuorma .....	11
4.5.1	Tuulikuorman luokittelu ja erityispiirteet .....	11
4.5.2	Puuskanopeuspaineen määrittäminen .....	12
4.5.3	Tuulikuorman määrittäminen voimakertoimien avulla .....	14
4.5.4	Tuulikuorman määrittäminen painekertoimien avulla .....	15
5	RAJATILAMITOITUS.....	17
5.1	Yleistä .....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
5.2	Kuormien yhdistely .....	17
5.2.1	Kuormien ja kuormitusyhdistelmien osavarmuusluvut .....	17
5.3	Murtorajatilamitoitus.....	19
5.3.1	Tarkasteltavat murtorajatilat .....	19
5.3.2	Luotettavuuden hallinta murtorajatilamitoituksessa .....	19
5.3.3	Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät Suomessa.....	20
5.3.4	Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät Ruotsissa.....	20
5.3.5	Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät Norjassa .....	21

5.4 Käyttörajatilamitoitus .....	21
6 PUURAKENTEIDEN MITOITUSPERIAATTEET .....	21
6.1 Puu rakennusmateriaalina .....	21
6.2 Käyttöluokat .....	22
6.3 Kuormien aikaluokat .....	23
6.4 Materiaaliominaisuuden mitoitussarvo .....	24
6.5 Keskeiset murtorajatilan poikkileikkauksen kestävyystarkastelut .....	26
6.5.1 Syysuuntainen veto .....	26
6.5.2 Syysuuntainen puristus .....	26
6.5.3 Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus .....	26
6.5.4 Taivutus .....	27
6.5.5 Leikkaus .....	28
6.6 Keskeiset murtorajatilan poikkileikkauksen kestävyystarkastelut yhdistettyjen jännitysten tapauksessa .....	29
6.6.1 Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutus.....	29
6.6.2 Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus.....	30
6.6.3 Puristetun sauvan nurjahduskestävyys sekä puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutus.....	30
6.6.4 Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys .....	32
6.7 Keskeiset käyttörajatilan tarkastelut .....	34
6.7.1 Taipuman rajoittaminen.....	34
6.7.2 Värähtely .....	35
7 KOHTEEN YLEISKUVAUS.....	38
7.1 Rakennuksen yleiset ominaisuudet .....	38
7.2 Yläpohjarakenteet .....	39
7.3 Väliseinät .....	40
7.3.1 Kantavat väliseinät .....	40
7.3.2 Kevyet, ei-kantavat väliseinät.....	40
7.4 Ulkoseinät.....	41
7.5 Välipohja.....	41
8 RAKENTEIDEN MITOITUS.....	42
8.1 Kattoristikoiden kannatuspalkki.....	42
8.1.1 Perustiedot .....	42
8.1.2 Kattoristikoiden kannatuspalkin mitoituksen tulokset .....	43
8.2 Toisen kerroksen ulkoseinän runkotolppa .....	44
8.2.1 Perustiedot .....	44
8.2.2 Toisen kerroksen runkotolpan mitoituksen tulokset .....	45
8.3 Välipohja.....	45
8.3.1 Perustiedot .....	45
8.3.2 Välipohjapalkin mitoituksen tulokset.....	46
8.4 Välipohjan kannatuspalkki .....	46
8.4.1 Perustiedot .....	46
8.4.2 Välipohjan kannatinpalkin mitoituksen tulokset.....	47
8.5 Ensimmäisen kerroksen ulkoseinänpalkki .....	47
8.5.1 Perustiedot .....	47
8.5.2 Ensimmäisen kerroksen ulkoseinänpalkin mitoituksen tulokset .....	47

8.6	Ensimmäisen kerroksen runkotolppa .....	48
8.6.1	Perustiedot .....	48
8.6.2	Ensimmäisen kerroksen runkotolpan mitoituksen tulokset .....	49
9	POHDINTA.....	49
	LÄHTEET .....	51

#### Liitteet

Liite 1	Rakennelaskelmien selostus
Liite 2	Katon lumikuormat
Liite 3	Runkotolppaan kohdistuva paikallinen tuulikuorma
Liite 4	Rakenteiden omapainot
Liite 5	Kattotuolien kannatuspalkkiin kohdistuvat pistekuormat

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, kuinka isolle markkina-alueelle työn tilaaja, Älvsbyhus-konserni, voisi nykyisillä rakenteillaan toimittaa kaksikerroksisia tilaelementtirakenteisia pientaloja. Lisäksi tavoitteena on laatia rakennesuunnitelmat tälle markkina-alueelle. Työssä esitellään rakenteiden mitoituksen periaatteet ja tarvittavat lähtötiedot Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa.

Työn tilaajana on Älvsbyhus-konserni, johon kuuluvat yritykset toimittavat tilaelementeistä koostuvia puurakenteisia pientaloja Suomeen, Ruotsiin ja Norjaan.

Rakennelaskelmat on laadittu käyttäen Finnforest Oy:n Finnwood 2.4 -laskentaohjelmaa Suomen laskelmien osalta ja Elecosoft AB:n Statcon-ohjelmaa Ruotsin ja Norjan laskelmien osalta. Lisäksi käytetään itse tehtyjä Excel-laskureita.

Työ on projektiluonteisen rakennesuunnittelun tulosta. Projektiryhmässä on ollut lisäksi yksi henkilö, joka on auttanut tuottamalla rakennedetaljeja ja antamalla yksityiskohtaista tietoa rakennesuunnitteluun vaikuttavista valmistusteknisistä asioista.

Koska aihealue on laaja, opinnäytetyöstä rajataan pois perustusten ja alapohjarakenteen, rakennuksen kokonaisjäykistyksen ja yksityiskohtaisten rakennedetaljien suunnittelu.

## 2 TYÖN TILAAJAN ESITTELY

Luvussa esitellään työn tilaaja ja tämän liiketoiminta.

### 2.1 Älvsbyhus-konserni

Älvsbyhus-konsernilla on liiketoimintaa kolmessa eri maassa: Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Suomessa toimii Älvsbytaló Oy, Ruotsissa Älvsbyhus AB ja Norjassa Älvsbyhus Norge AS. Konsernin pääkonttori sijaitsee Älvsbyssä, Ruotsin Norrbottenin maakunnassa. Konsernin tuotantolaitokset sijaitsevat Ruotsin Älvsbyssä, Bjärnumissa ja Vålbergissa sekä Suomen Kauhajoella. (Älvsbyhus AB 2018a.)

Liiketoiminta alkoi 1950-luvun puolivälissä, ja ensimmäinen Älvsbytalokäytävä pystytettiin yhtiön pääpaikalle Ruotsin Älvsbyhyn vuonna 1960. Siitä lähtien toiminta on laajentunut ja kasvanut kolmeen maahan: Suomeen, Ruotsiin ja Norjaan. (Älvsbyhus AB 2018a.)

## **2.2 Liikeidea ja sen kehittyminen**

Konsernin liikeideana on kehittää, myydä ja valmistaa haluttuja, valmiiksi asennettuja, laadukkaita puutaloja markkinoiden edullisimpaan hintaan. Liikeideasta on viime vuosina poistettu tiettyjä rajoituksia, mikä mahdollistaa myös kaksikerroksisten talojen valmistamisen. (Älvsbyhus AB 2018b.)

## **2.3 Rakennusprosessin kuvaus**

### **2.3.1 Tilaelementtien valmistus tehtaalla**

Tilaelementit koostuvat alapohjasta, ulkoseinistä ja välipohjasta. Alapohja-, ulkoseinä-, väliseinä- ja välipohjarakenteet tehdään omilla tuotantolinjoillaan suurelementeiksi, jotka kootaan yhdeksi elementiksi, tilaelementiksi.

Tilaelementit valmistetaan mahdollisimman valmiiksi tehtaalla. LVI-asennukset, sähkövedot ja kiinteät kalusteet kuten keittiö kodinkoneineen asennetaan valmiiksi. Märkätilojen pintamateriaalit ja vesikalusteet asennetaan myös tehtaalla.

Kun tilaelementit ovat valmiit, ne suojataan kertakäyttöpeitteillä ja siirretään välivarastoon odottamaan kuljetusta tontille.

### **2.3.2 Talon pystytys työmaalla**

Tilaelementit kuljetaan tontille kuljetusautoilla. Tontilla ne nostetaan autonosturilla perustusten päälle. Kun tilaelementit on nostettu paikoilleen ja niiden sijainti sokkelin päällä varmistettu oikeaksi, ne kytketään toisiinsa.

## **2.4 Käytössä olevat rakennetyypit**

Rakennetyypit esitetään kohteen yleistietojen yhteydessä luvussa 7.



### 3 RAKENTAMISEN SÄÄNTELY JA PUURAKENTAMISTA EDISTÄVÄT TAHOT SUOMESSA, RUOTSISSA JA NORJASSA

Rakentamista säännellään viranomaisten antamilla sitovilla laeilla ja asetuksilla. Lisäksi viranomaistahot antavat lakeja ja asetuksia selventäviä ohjeita. Luvussa kerrotaan, mitkä tahot ohjaavat rakentamista Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa sekä esitetään keskeisimmät rakentamista ohjaavat lait, asetukset ja ohjeet. Lisäksi luvussa esitellään puurakentamista edistäviä tahoja Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa.

#### 3.1 Rakentamisen sääntely Suomessa

##### 3.1.1 Rakentamisen säännökset ja ohjeet

Suomessa rakentamisen yleisestä ohjauksesta ja valvonnasta vastaa ympäristöministeriö. Sen vastuulla on rakentamiseen ja maankäyttöön liittyvä lainsäädäntö ja muut säädökset. (Ympäristöministeriö 2018a.)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa 1999/132 sekä sitä täydentävässä asetuksessa on säädetty rakentamista koskevat minimivaatimuksista, rakentamisen lupamenettelystä ja viranomaisten suorittama valvonnasta (Ympäristöministeriö 2018b).

Maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa rakentamista yleisellä tasolla. Tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Siinä annetaan määräyksiä ja tarkentavia ohjeita mm. suunnitteluun ja valvontaan, rakenteiden lujuuteen ja vakauteen, paloturvallisuuteen, terveellisyyteen, käyttöturvallisuuteen, esteettömyyteen, meluntorjuntaan sekä energiatehokkuuteen. Vuoden 2018 alkuun mennessä rakentamismääräyskokoelmaa on uudistettu siten, että määräykset on annettu asetusmuodossa ja ohjeet julkaistaan erillisissä julkaisuissa. Maaliskuun 2018 lopussa päivitystyö on edelleen kesken. (Ympäristöministeriö 2018b.)

##### 3.1.2 Puurakentamista edistäviä tahoja Suomessa

Suomessa puurakentamista edistävä keskeinen taho on Puuinfo Oy. Se on voittoa tavoittelematon yhtiö, jonka tavoitteena on edistää puutuotteiden käyttöä rakentamisessa ja sisustamisessa. Puuinfo välittää tietoa puurakentamisen tutkimustuloksista helposti ymmärrettävässä muodossa. Puuinfo tarjoaa vapaasti suunnitteluohjeita, mitoitustyökaluja, esimerkkirakenteita ja suunnitteluohjeita. (Puuinfo Oy 2018.)

Toinen merkittävä puurakentamisen edistäjä on Metsä Wood Oy erityisesti kehittämänsä ilmaiseksi ladattavissa olevan puurakenteiden Finnwood-mitoitusohjelman ansiosta. (Metsä Wood 2018.)

### 3.2 Rakentamisen sääntely Ruotsissa

#### 3.2.1 Rakentamisen säännökset ja ohjeet

Ruotsissa rakentamista koskevien lakien ja säädösten laatimisesta vastaa elinkeinoministeriö. Rakentamista ohjaava viranomaistaho on Boverket, joka vastaa rakentamista koskevien säännösten ja yleisten ohjeiden laadinnasta. (Ruotsin hallitus 2018.)

Säännökset ja ohjeet on esitetty Boverketin julkaisemassa kokoelmassa Boverkets Byggregler (BBR). Säännökset käsittelevät esteettömyyttä, rakennuksen muotoilua, huonekorkeutta, käyttötiloja, palosuojausta, hygieniaa, terveyttä ja ympäristöä, melusuojausta, käyttöturvallisuutta sekä energiataloudellisuutta. Viimeisin säännöskokoelma on BBR 25, joka on julkaistu toukokuussa 2015. (Boverket 2018b.)

Rakenteita koskevat vaatimukset on koottu Boverketin kokoelmaan EKS (europeiska konstruktionsstandarder), jonka uusin versio, EKS 10, on julkaistu vuonna 2015. EKS on kaavoitus- ja rakennuslain edellyttämien rakenteiden kantavuuden, lujuuden ja kestävyys täytöntöönpaneva säännöskokoelma. Kokoelmassa valitaan eurokoodien kansalliset parametrit ja laskentamenetelmät. (Boverket 2018a.)

#### 3.2.2 Puurakentamista edistäviä tahoja Ruotsissa

Svenskt Trä on Ruotsissa toimiva järjestö, jonka tavoitteena on levittää tietoa puusta, puuperäisistä tuotteista ja puurakentamisesta. Järjestö on osa Skogsindustrierna-organisaatiota. (Svenskt Trä 2018a.)

Svenskt Trä julkaisee puurakentamisen koulutusmateriaalia verkkosivullaan. Järjestö on julkaissut mm. puurakenteiden mitoituksen ohjekirjoja, joista esimerkkinä voidaan mainita kolmiosainen julkaisusarja Dimensionering av träkonstruktioner. Kirjat perustuvat eurokoodeihin sekä Ruotsin kansallisiin liitteisiin. Kirjoissa on kuitenkin myös paljon yleisluonteista asiaa puurakentamisesta kiinnostuneille. Kirjoista on tehty myös englanninkieliset versiot. Lisäksi Svenskt Trä julkaisee yksityiskohtaisia rakennekuvauksia puurakenteista ja niiden liitoksista. (Svenskt Trä 2018b.)

### 3.3 Rakentamisen sääntely Norjassa

#### 3.3.1 Rakentamisen säännökset ja ohjeet

Norjassa rakentamista koskevien lakien ja säädösten laatiminen on kunta- ja modernisointiministeriön (kommunal- og moderniseringsdepartementet) vastuulla. Rakentamista ohjaava viranomainen on Direktoratet for byggkvalitet. (Norjan hallitus 2018.)

Norjassa rakentamista koskevat asioista on lakitasolla säädetty kaavoitus- ja rakennuslaissa (Lov om planlegging og byggesaksbehandling, plan- og bygningsloven) (Lovdata 2018).

Rakentamissäännöskokoelman laatimisesta vastaa Direktoratet for byggkvalitet, ja uusin rakentamissäännöskokoelma on nimeltään TEK17 (Forskrift om tekniske krav til byggverk TEK17). Se sisältää rakentamista koskevia velvoittavia määräyksiä ja asetuksia sekä näitä täsmentäviä ohjeita. (Direktoratet for byggkvalitet 2018.)

### 3.3.2 Puurakentamista edistäviä tahoja Norjassa

Norjassa ei ole vastaavaa tahoa kuin Suomessa ja Ruotsissa, joka jakaisi ilmaiseksi puurakentamista koskevaa tietoa. Maksullisessa Byggforsk-palvelussa on kuitenkin myös puurakentamista ja puutuotteita koskevia standardeja ja suunnitteluohjeita (SINTEF Byggforsk 2018).

Lisäksi puuteollisuudella on oma tutkimusjärjestönsä, Norsk Treteknisk institut, jonka tehtävänä on edistää jäsenyritystensä kannattavuutta jakamalla ajankohtaista tutkimustietoa puun käytöstä rakentamisessa. Järjestö julkaisee puurakentamisen oppaita, järjestää kursseja ja tarjoaa testaus- ja sertifiointipalveluja. (Norsk Treteknisk Institut 2108.)

## 4 KUORMAT

Luvussa esitetään pientalon rakenteisiin kohdistuvat kuormat ja niiden luokittelu. Kuormien määrittely perustuu eurokoodistandardeihin EN 1990, EN 1991-1, EN 1991-3 ja EN 1991-4.

### 4.1 Kuormien luokittelu

Kuormat voidaan luokitella niiden ajallisen keston, alkuperän, vaikutusalueen vaihtelun ja luonteen tai rakenteen vasteen perusteella eri luokkiin, joiden erityispiirteet tulee huomioida rakenteiden mitoituksessa. Ajallisen keston perusteella kuormat luokitellaan pysyviin, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin. Tyypillisiä pysyviä kuormia ovat rakenteiden omapaino sekä maanpaine. Muuttuvia kuormia ovat muut tyypilliset rakenteisiin kohdistuvat kuormat, kuten lumikuorma, rakennuksen käytöstä aiheutuva kuorma eli hyötykuorma, tuulikuorma ja liikennekuorma. Onnettomuuskuormia esiintyy harvoin, ja ne aiheutuvat äkillisestä onnettomuudesta, kuten räjähdyksestä, tulipalosta tai ajoneuvon törmäyksestä. (Isaksson, Mårtensson & Thelandersson 2017, 41.)

Kuormat voidaan luokitella niiden vaikutusalueen vaihtelun perusteella kiinteisiin ja liikkuviin kuormiin. Kiinteät kuormat kohdistuvat rakenteeseen yksiselitteisesti määrätyllä tavalla. Rakennusosien omapaino sekä maan omapaino ovat tyypillisiä kiinteitä kuormia. Lisäksi esimerkiksi lumi-kuorma käsitellään mitoituksessa kiinteänä kuormana, vaikka sen jakautuminen onkin vain osittain kiinteä. Liikkuvia kuormia ovat esimerkiksi asuntojen hyötykuormat, ja rakenteiden mitoituksessa liikkuvien kuormien oletetaan jakautuvan siten, että mitoitus tilanne on mahdollisimman epäedullinen. (Isaksson ym. 2017, 40.)

## 4.2 Omapaino

Rakenteen omapaino on tyypillinen pysyvä ja kiinteä kuorma, ja sen ominaisarvo lasketaan rakennososan mittojen ja keskimääräisten tilavuuspainojen avulla. (SFS-EN 1990 2006, 60.)

Rakennuksen omapaino koostuu kantavista ja ei-kantavista rakennusosista, kiinteistä laitteista ja maakerroksen täyte- ja sepelikerroksen painosta. Pientalon ei-kantaviin rakennusosiin kuuluvat vesikate, pintakerrokset ja päällysteet, kevyet väliseinät ja verhoukset, seinien verhous, alakatot ja lämmöneristys sekä kiinteät laitteet, joita ovat mm. lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteet, sähkölaitteet ja tyhjinä olevat putkistot. (SFS-EN 1991-1-1 2010, 24.)

## 4.3 Hyötykuormat

Pientalon hyötykuormat käsittävät henkilöjen normaalin oleskelun tiloissa sekä huonekalut ja siirrettävät kohteet, kuten siirrettävät kevyet väliseinät. Lisäksi hyötykuorman arvossa on huomioitu harvoin toistuvat tapahtumat, kuten henkilöiden kokoontuminen, huonekalujen ja tavaroiden siirtely ja kasautuminen. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 28.)

Hyötykuorma on muuttuva, liikkuva kuorma. Mitoituksessa sen oletetaan vaikuttavan sellaisessa kohdassa vaikutus aluetta, että sen vaikutus on mahdollisimman epäedullinen. Jos rakennuksen muiden kerrosten hyötykuormat vaikuttavat tarkasteltavan kerroksen tarkasteluun, nämä voidaan ottaa huomioon tasaisesti jakautuneena, kiinteänä kuormana. (SFS-EN 1991-1-1 2002, 28.)

Hyötykuormien ominaisarvot on määritelty ihmisten oleskeluun tarkoitettujen tilojen luokkien mukaan. Pientalot sijoittuvat luokkaan A, joka käsittää asuin- ja majoitustilat. Hyötykuormien suositusarvot on esitetty standardissa SFS-EN 1991-1-1 (2002, 20), mutta siinä annetaan mahdollisuus kansallisille valinnoille. Luokkaan A kuuluvien rakennusten välipohjien, parvekkeiden, portaiden ja ullakotilojen hyötykuormat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Hyötykuormien ominaisarvot luokan A tiloille Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (EN 1991-1-1 2002 + NA).

Hyötykuorman ominaisarvot luokan A tiloissa	Tasainen kuorma $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Pistekuorma-tarkastelu $Q_k$ [kN]
<b>SUOMI</b>		
Lattiat	2,0	2,0
Portaat	2,0	2,0
Parvekkeet	2,5	2,0
<b>RUOTSI</b>		
Lattiat	2,0	2,0
Portaat	2,0	2,0
Parvekkeet	3,5	2,0
Ullakko (korkeus korkeintaan 0,6 m ja käynti luukusta, jonka koko korkeintaan 1 m x 1 m)	0,5	0,5
<b>NORJA</b>		
Lattiat	2,0	2,0
Portaat	3,0	2,0
Parvekkeet	4,0	2,0
Ullakko (matala korkeus ja rajoitettu pääsy)	1,0	1,5

#### 4.4 Lumikuormat

##### 4.4.1 Lumikuorman luokittelu ja mitoitusolosuhteet

Lumikuorma luokitellaan ajallisesti muuttuvaksi, mutta sijainniltaan kiinteäksi ja luonteeltaan staattiseksi kuormaksi. Se määritellään maanpinnalla vaikuttavan lumikuorman perusteella. Lopullinen lumikuorman ominaisarvo saadaan kertomalla maanpinnan lumikuorman arvo katon muoto-kertoimella. (SFS-EN 1991-1-3 2015, 16.)

Lumikuorman ominaisarvo määritetään yleensä 50 vuoden tarkastelujakson ajalta määritetyn tilastollisen jakauman perusteella. Tämä tarkoittaa karkeasti sitä, että maanpinnan lumikuorman arvo ylittyy keskimäärin kerran 50 vuodessa. (SFS-EN 1990 2006, 60.)

Standardissa EN 1991-1-3 (2015) on esitetty lumikuorman määrittämisen periaatteet normaali- ja poikkeusolosuhteissa. Opinnäytetyössä esitetään vain lumikuorman määrittäminen normaaliolosuhteissa, sillä Suomen, Ruotsin ja Norjan kansallisissa liitteissä on ilmoitettu, ettei poikkeuksellisia olosuhteita näissä maissa ole.

#### 4.4.2 Maanpinnan lumikuorma

Suomen maanpinnan lumikuormien ominaisarvot on määritetty standardin SFS-EN 1991-1-3 (2015) kansallisessa liitteessä esitetyssä kartassa. Jos lumikuorman ominaisarvo ei ole vakio rakennuspaikan kohdalla, se tulee interpoloida suoraviivaisesti lähimmistä käyristä. Maanpinnan lumikuorman vaihteluväli on 2,0–3,5 kN/m<sup>2</sup>. (RIL 201-1-2017, 92.)

Ruotsissa käytettävät maanpinnan lumikuorman ominaisarvot on määritetty kansallisessa liitteessä esitetyissä kartoissa. Vaihteluväli on 1,0–5,5 kN/m<sup>2</sup>. (Boverket 2016, 40–41.)

Norjassa maanpinnan ominaislumikuorman määrittely poikkeaa Suomesta ja Ruotsista. Rakennuspaikkakohtainen maanpinnan ominaislumikuorma määritellään lumikuorman perusarvon  $s_{k0}$ , korkeusrajan (etäisyys merenpinnasta)  $H_g$  ja arvon  $\Delta s_k$  funktiona. Edellä mainitut parametrit on määritetty kuntakohtaisesti. Mikäli rakennuspaikan korkeus merenpinnasta on korkeintaan annetun korkeusrajan  $H_g$  suuruinen, maanpinnan lumikuorman ominaisarvona käytetään suoraan perusarvoa  $s_{k0}$ . Jos taas korkeus merenpinnasta  $H$  on isompi kuin kuntakohtainen korkeuden raja-arvo  $H_g$ , maanpinnan lumikuorman ominaisarvo lasketaan kaavalla 1:

$$s_k = s_{k0} + n \nabla s_k, \quad (1)$$

jossa

$\nabla s_k$  kuntakohtainen arvo, joka saadaan taulukosta NA.4.1(901)  
 $n$  lasketaan kaavalla  $n = \frac{H-H_g}{100}$ .

Luku  $n$  pyöristetään lähimpään kokonaislukuun. Lisäksi kuntakohtaisesti on määritetty maanpinnan lumikuorman ominaisarvon maksimi-arvot. (NS-EN 1991-1-3+NA 2008, 2.)

#### 4.4.3 Katon lumikuorma

Mitoituksessa tulee huomioida lumen kinostuminen katolle. Lumen kinostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat katon muoto, yläpohjarakenteen lämmöneristyskyky, katemateriaalin karheus, katon alla syntyvä lämpömäärä, etäisyys lähellä sijaitseviin rakennuksiin, ympäröivän maaston muodot sekä paikallisen ilmaston ominaispiirteet, kuten tuulisuus, lämpötilan vaihtelu ja lumi- tai vesisateiden todennäköisyys. (EN 1991-1-3 2015, 26.)

Standardin EN 1991-1-3 (2015, 28) mukaan lumen kinostuminen katolle huomioidaan katon lumikuorman ominaisarvon laskukaavassa

$$q_k = \mu_i C_e C_t s_k, \quad (2)$$

jossa

$\mu_i$  lumikuorman muotokerroin

$S_k$	maanpinnan lumikuorman ominaisarvo
$C_e$	tuulensuojaisuuskerroin
$C_t$	lämpökerroin.

Katon lumikuorman oletetaan vaikuttavan pystysuoraan, ja se lasketaan rakennuksen kattopinnan vaakaprojektiota kohti.

Tuulensuojaisuuskerroin  $C_e$  on lajiteltu kolmeen maastoluokkaan: tuulinen, normaali ja suojainen. Tuuliseen luokkaan kuuluu laakea, esteetön, joka suuntaan avoin alue, jossa rakennukset ja puut antavat vain vähän tuulensuojaa. Normaalissa maastossa alueella vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennusten tai puiden takia huomattavasti poista lunta. Suojaisessa maastossa tarkasteltava rakennus on huomattavasti ympäröivää maastoa alempana tai korkeiden puiden tai rakennusten ympäröimä. (SFS-EN 1991-1-3 2015, 30.)

Standardissa SFS-EN 1991-1-3 (2015, 30) annetaan suositusarvot tuulensuojaisuuskertoimelle  $C_e$  eri maastoluokissa. Standardissa on kuitenkin annettu mahdollisuus kansallisille valinnoille. Norjan kansallisessa liitteessä (NS-EN 1991-1-3+NA 2015) esitetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaiset tuulensuojaisuuskertoimen arvot, mutta tuulisen maastoluokan mukaisen arvon 0,8 käytössä on lisäehtoja. Myös Suomen kansallisessa liitteessä (SFS-EN 1991-1-3+NA 2017) annetaan lisäehto tuulisen maastoluokan arvon 0,8 käytölle. Ruotsin kansallisessa liitteessä (Boverket 2016, 42) todetaan, että tuulensuojaisuuskertoimen arvo tulee olla vähintään 1,0. Tuulensuojaisuuskertoimen suositusarvot sekä kansalliset valinnat eri maastoluokissa esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Tuulensuojaisuuskertoimen  $C_e$  arvot Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (EN 1991-1-3 2015 + NA).

Maasto- tyyppi	Tuulensuojaisuuskerroin $C_e$			
	Suositusarvot	Suomi	Ruotsi	Norja
Tuulinen	0,8	0,8*	1,0	0,8**
Normaali	1,0	1,0	1,0	1,0
Suojainen	1,2	1,2	1,2	1,2

\* Käytetään arvoa 1,0, jos katon lyhyempi sivumitta on enintään 50 m.

\*\* Arvoa voidaan käyttää vain, jos ajanjaksolla tammikuu–helmikuu normaalilämpötilan on alle 0 °C:n sekä samalla ajanjaksolla on vähintään 10 päivänä vähintään yksi 10 minuutin kestoinen, yli 8 m/s:n nopeudella puhaltava tuuli. Lisäksi katon pisin sivumitta saa olla enintään 50 m.

Lämpökertoimella  $C_t$  huomioidaan rakennuksesta kattorakenteen läpi tuleva lämpökuorma. Jos kattorakenteen lämmönläpäisevyys on suuri, katon lumikuorma pienenee lämpöhäviön aiheuttaman lumen sulamisen takia. Standardin SFS-EN 1991-1-3 (2015, 30) mukaan lämpökertoimen  $C_t$  arvona

käytetään arvoa 1,0, ellei katon lämmönläpäisevyys ole huomattavan suuri (U-arvo yli 1 W/m<sup>2</sup>K). Koska tässä työssä tarkastellaan vain hyvin eristettyjä kattorakenteita, laskelmissa lämpökertoimen  $C_t$  arvona käytetään standardin esittämää arvoa 1,0.

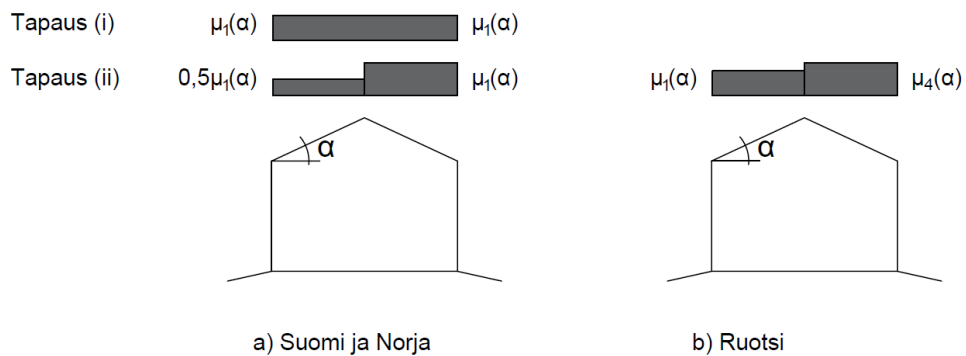
Katon muotokerroin  $\mu_i$  kuvaa lumen jakautumista katolle. Muotokertoimen arvo määräytyy pääasiassa katon kaltevuuskulman, kuormituskaavion ja mahdollisten katolla olevien tai ympäröivien esteiden perusteella. Standardissa SFS-EN 1991-1-3 (2015, 32–38) esitetään katon muotokertoimien suositusarvot mutta annetaan mahdollisuus paikalliset olosuhteet huomioiville kansallisille valinnoille. Taulukossa 3 esitetään Suomen, Ruotsin ja Norjan kansalliset valinnat katon muotokertoimelle.

Taulukko 3. Lumikuorman muotokertoimet Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (SFS-EN 1991-1-3+NA).

	<b>Katon kaltevuuskulma <math>\alpha</math> [°]</b>		
<b>SUOMI</b>	$0 \leq \alpha \leq 30$	$30 < \alpha < 60$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8+0,8\alpha/30$	1,6	1,6
<b>RUOTSI</b>	$0 \leq \alpha \leq 30$	$30 < \alpha < 60$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0,0
$\mu_4$	$0,8+(0,3/22,5)\alpha$	$1,1/37,5(60-\alpha)$	0,0
<b>NORJA</b>	$0 \leq \alpha \leq 30$	$30 < \alpha < 60$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8+0,8\alpha/30$	1,6	-

Käytettävät kuormituskaaviot määräytyvät katon muodon mukaan. Harjakaton tapauksessa Suomella, Ruotsilla ja Norjalla on toisistaan poikkeavat kuormituskaaviot. Ne on esitetty kuvassa 1. Tapaus (i) kuvaa tilannetta, jolloin lumi ei ole kinostunut. Tapaus (ii) kuvaa tilannetta kinostuneen lumen tapauksessa.





Kuva 1. Harjakaton lumikuorman kuormituskaavio a) Suomessa, b) Ruotsissa ja c) Norjassa (SFS-EN 1991-1-3 2015 + NA).

Ruotsin kansalliset valinnat poikkeavat merkittävästi standardin SFS-EN 1991-1-3 (2015, 34) suositusarvoista harjakatoille. Suomessa ja Norjassa muotokerroin  $\mu_1$  ei koskaan ole arvoa 0,8 suurempi. Ruotsissa muotokerroin  $\mu_4$  on suurimmillaan 1,1. (Boverket 2015, 43.)

Ruotsin poikkeavaa harjakaton muotokerrointa perustellaan sillä, että usein lumisateen aikaan tuulee siten, että tuulenpuolella olevalle katonlappeelle kertyy vähemmän lunta kuin suojanpuolelle. Standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaisessa mallissa tätä ei oteta riittävästi huomioon. Tämän takia suojanpuolen lappeelle annetaan isompi muotokerroin  $\mu_4$ . (Boverket 2017a.)

Aihetta käsitellään myös Boverketin seurausselvityksessä vuodelta 2017. Selvityksessä todetaan, että vuosien 2009/10 ja 2010/11 talviaikoina tapahtuneiden kattosortumien jälkeen tehdyissä selvityksissä on huomattu lumen jakautuneen epätasaisesti erityisesti loivilla katoilla. 60- ja 70-luvuilla tehtyjen mittausten perusteella todellisen muotokertoimen todettiin useissa tapauksissa olleen arvojen 0,8 ja 1,1 välillä. (Boverket 2017b.)

## 4.5 Tuulikuorma

### 4.5.1 Tuulikuorman luokittelu ja erityispiirteet

Tuulikuorma määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011) ja sen kansallisten liitteiden mukaisesti. Tuulikuorma on kiinteä, muuttuva kuorma, joka määritellään yleensä tarkasteltavaa rakennetta vastaan kohtisuorana voimana tiettyä pinta-alayksikköä kohti. Tuulikuorma aiheuttaa yli- ja alipainetta rakennuksen ulkopinnoille. Ulkovaipan vuotokohtien ja pintojen huokoisuuden takia tuuli aiheuttaa lisäksi rakennuksien sisälle yli- ja alipainetta, jotka on myös huomioitava rakenteiden mitoituksessa. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 30.)

Tuulikuorma rasittaa yksittäisiä, tuulelle alttiita rakenteita. Rankarakenteissa rakennuksessa tuulikuorma on mitoittavana kuormana ainakin kattotuolien mitoituksessa ja runkotolppien mitoituksessa. Lisäksi koko rakennuksen jäykistystarkastelussa tulee tarkastella tuulikuorman vaikutus. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tuulennopeus, rakennusta ympäröivän maaston muodot ja rosoisuus sekä rakennuksen mitat.

Rakenneosaan tai koko rakennukseen kohdistuva tuulikuorma voidaan määrittää standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 44) mukaisesti joko voima- tai painekertoimia käyttäen. Nämä esitetään myöhemmin. Molempiin menetelmiin tulee lähtötietona määritellä tuulen puuskanopeuspaine  $q_p$ .

#### 4.5.2 Puuskanopeuspaineen määrittäminen

Tuulen puuskanopeuspaineen  $q_p$  määrittämiseksi on selvitettävä tuulennopeuden perusarvo  $v_b$ , joka kuvaa tarkasteltavan maantieteellisen alueen tuuliolosuhteita. Tuulennopeuden perusarvo on tuulennopeuden 10 minuutin keskiarvo 10 metrin korkeudella maanpinnasta avoimessa, maastoluokan II mukaisessa maastossa. Se määritellään ominaisarvona, jonka voidaan olettaa ylittyvän keskimäärin kerran 50 vuodessa. Standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 32) mukaan tuulennopeuden perusarvo lasketaan kaavalla

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0}, \quad (3)$$

jossa

$C_{dir}$	suuntakerroin (=1)
$C_{season}$	vuodenaikakerroin
$v_{b,0}$	tuulennopeuden modifioimaton perusarvo.

Vuodenaikakerroin  $C_{season}$  saa yleensä arvon 1, mutta toteutusvaiheessa oleville ja tilapäisrakennuksille voidaan käyttää myös arvoa 1 pienempiä arvoja. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 32.)

Suomen kansallisessa liitteessä tuulennopeuden modifioimattomaksi perusarvoksi  $v_{b,0}$  määritellään koko maassa meri- ja tunturialueet mukaan lukien 21 m/s. Norjassa tuulennopeuden modifioimaton perusarvo määritetään paikkakunnittain, ja vaihteluväli on 22–32 m/s. Ruotsin kansallisessa liitteessä on määritelty suoraan tuulennopeuden perusarvot  $v_b$  alueittain. Vaihteluväli on 21–26 m/s. Sekä Ruotsissa että Norjassa korkeimmat arvot saavutetaan rannikolla ja tunturialueilla.

Rakennusta ympäröivän maaston rosoisuus vaikuttaa tuulennopeuteen ja sitä kautta tuulikuorman suuruuteen. Standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011, 36) maasto-olosuhteet jaetaan viiteen eri luokkaan, jotka esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Maastoluokkien kuvaukset (SFS-EN 1991-1-4 2011, 36).

Maasto-luokka	Kuvaus
0	Meri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai tasanko, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä.
II	Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus.
III	Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä).
IV	Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m.

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo saadaan standardin SFS-EN-1991-1-4 (2011, 34) mukaan tuulennopeuden perusarvon avulla ottamalla huomioon rakennusta ympäröivän maaston rosoisuus ja pinnanmuodot:

$$v_m(z) = C_r(z) C_o(z) v_b \quad (4)$$

jossa

$C_r(z)$	maaston rosoisuuskerroin
$C_o(z)$	pinnanmuotokerroin
$v_b$	tuulennopeuden perusarvo
$z$	korkeus maanpinnasta.

Pinnanmuotokerroin  $C_o(z)$  kuvaa rakennusta ympäröivän maaston pinnanmuotoja ja saa arvon 1, mikäli ympäröivän maaston kaltevuus on korkeintaan 0,03. Pinnanmuotokertoimen yksityiskohtainen määrittäminen esitetään standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 38) kappaleessa 4.3.3, eikä sitä tässä työssä käsitellä.

Maaston rosoisuuskerroin määritellään standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011, 34) ja sen kansallisissa liitteissä. Rosoisuuskerroin huomioi tuulennopeuden modifioitun perusarvon vaihtelun, jonka aiheuttavat korkeus merenpinnasta ja rakennuksen tuulenpuolella olevan maaston rosoisuus. Rosoisuuskertoimen määrittämistä ei tässä työssä käsitellä.

Tuulen puuskanopeuspaineen laskentakaava esitetään standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 41) kaavassa 4.8. Kansallisesti tästä kaavasta voidaan poiketa. Koska puuskanopeuspaineen määrittäminen on työlästä, kansallisissa liitteissä ja muissa yleisesti hyväksytyissä ohjeissa on esitetty valmiiksi lasketut puuskanopeuspaineet. Kaikissa esitetyissä arvoissa on oletettu pinnanmuotokertoimen  $C_o(z)$  arvoksi 1,0 ja huomioitu tuulivoiman kasvaminen ilmastonmuutoksen seurauksena.

Suomessa puuskanopeuspaine määritetään yleisesti RIL 201-1-2017 -suunnitteluohjeessa esitetyn kuvaajan ja taulukon perusteella. Ruotsin kansallisessa liitteessä (Boverket 2016, 51–53) puuskanopeuspaineet on määritetty eri tuulennopeuden perusarvoille eri maastoluokissa. Norjan kansallisessa liitteessä (NS-EN 1991-1-4 + NA 2011, 3–5) on esitetty puuskanopeuspaineen laskentakaava, mutta standardin liitteenä on ohje puuskanopeuspaineen määrittämiseksi diagrammien avulla.

#### 4.5.3 Tuulikuorman määrittäminen voimakertoimien avulla

Standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 44) mukaisesti rakennukseen tai rakennosaan kohdistuva kokonaistuulikuorma lasketaan kaavalla

$$F_w = C_s C_d C_f q_p(z_e) A_{ref}, \quad (5)$$

jossa

$F_w$	kokonaistuulivoima
$C_s C_d$	rakennekerroin
$C_f$	voimakerroin
$q_p(z_e)$	luvun 4.5.2 mukainen, maaston pinnanmuodon mukaan modioitu puuskanopeuspaine nousupainekorkeudella $z_e$
$A_{ref}$	tuulikuorman vaikutusala.

Projektiopinta-ala  $A_{ref}$  on tuulta vastaan kohtisuoran rakennuksenosan pinta-ala. Kun tuuli puhaltaa pohjaltaan suorakaiteen muotoisen rakennuksen lyhyemmän sivun suuntaisesti, projektiopinta-ala saadaan rakennuksen korkeuden ja rakennuksen pidemmän sivun tulona. Kun taas tuulee rakennuksen päädyistä eli pidemmän sivun suuntaisesti, projektiopinta-ala lasketaan rakennuksen korkeuden ja rakennuksen lyhyemmän sivun tulona. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 46.)

Rakennekertoimen  $C_s C_d$  avulla otetaan huomioon tuulenpaineen huippuarvojen eriaikaisuus ja tuulenpuuskien dynaamiset vaikutukset. Standardin EN 1991-1-4 (2015, 48) mukaan rakennekertoimen arvona alle 15 metriä korkeille rakennuksille voidaan käyttää arvoa 1, joten sen laskentakaavaa ei tässä työssä esitetä.

Rakennuksen voimakerroin  $C_f$  määritellään rakennuksen mittatietojen perusteella, ja se siis vaihtelee tarkasteltavan tuulensuunnan mukaan. Standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011, 112–114) esitetään voimakertoimen laskukaava, joka on monimutkainen. RIL:n julkaisussa 201-1-2017 (140–144) on kuitenkin esitetty yksityiskohtaisempi ja helpommin tulkittava menetelmä, jolla kuitenkin päästään standardin mukaisen menetelmän antamaan lopputulokseen. RIL:n ohjeen mukaista menetelmää voidaan soveltaa myös Ruotsin ja Norjan laskelmissa, koska näiden maiden kansallisissa liitteissä ei ole esitetty standarditekstistä poikkeavia menetelmiä.

#### 4.5.4 Tuulikuorman määrittäminen painekertoimien avulla

Rakennuksen ulkopinnoille kohdistuva tuulenpaine lasketaan nopeuspaineen ja rakennuksen tai rakenteen muodosta sekä tuulen suunnasta riippuvan kertoimen avulla seuraavasti:

$$w_e = q_p(z_e) C_{pe}, \quad (6)$$

jossa

$w_e$	tarkasteltavaa pintaa vastaan kohtisuora tuulenpaine pinta-alayksikköä kohti
$q_p(z_e)$	tuulen puuskanopeuspaine (voimapinta pinta-alayksikköä kohti)
$z_e$	ulkopuolisen paineen tarkastelukorkeus
$C_{pe}$	ulkopuolisen paineen painekerroin. (SFS-EN 1991-1-4 2015, 42.)

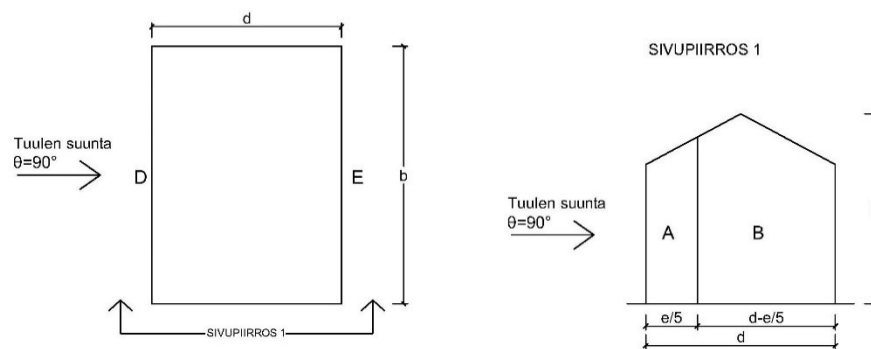
Ulkopuolisen paineen painekertoimen  $C_{pe}$  arvoon vaikuttavat kuormitetun alan pinta-ala  $A$ , tuulennopeus, tuulensuunta sekä rakennuksen muoto ja koko (Isaksson ym. 2017, 60). Standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011, 62)  $C_{pe}$ -kertoimet esitetään taulukoituina kuormitetun alan  $A$  arvoille  $1 \text{ m}^2$  ( $C_{pe,1}$ ) ja  $10 \text{ m}^2$  ( $C_{pe,10}$ ).  $C_{pe,1}$ -kertoimet on tarkoitettu pienten osien ja kiinnitysten mitoittamiseen, kun taas  $C_{pe,10}$ -kertoimia käytetään kantavan rungon suunnitteluun. Jos kuormitetun alueen pinta-ala on  $1 \text{ m}^2$ :n ja  $10 \text{ m}^2$ :n välillä, ulkopuolisen paineen painekerroin saadaan interpoloimalla logaritmiesteti standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 56) mukaisesti kaavalla 7:

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10}(A) \quad (7)$$

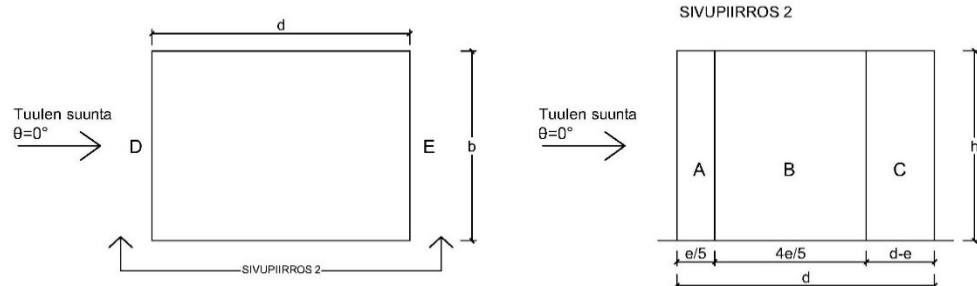
Standardin SFS-EN 1991-1-4 (2011, 60) mukaan suorakaiteen muotoisen rakennuksen tuulenpuoleisten seinien nousupainekorkeudet  $z_e$  määräytyvät rakennuksen korkeuden  $h$  ja syvyyden eli rakennuksen tuulensuuntaisen pituuden  $d$  mukaan. Kun rakennuksen korkeus  $h$  on pienempi kuin rakennuksen tuulensuuntainen pituus  $d$ , käytetään koko seinän matkalla samaa puuskanopeuspaineen arvoa korkeudella  $h$ ,  $q_p(h)$ . Kohteena olevassa rakennuksessa tämä ehto täyttyy. Korkeampien rakennusten nousupainekorkeudet ja puuskanopeuspaineiden jakautumisvyöhykkeet esitetään standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011, 60).

Suorakaiteen muotoisen rakennuksen ulkoseinät jaetaan vyöhykkeisiin tuulen suunnan ja mitan  $e$  mukaan. Mitaksi  $e$  valitaan rakennuksen tuulta vastaan kohtisuoran julkisivun leveyden  $b$  ja rakennuksen kaksinkertaisen korkeuden ( $2h$ ) arvoista pienempi. Kuvassa 2 esitetään tuulenpaineen vyöhykkeet kohderakennukselle sopivissa tapauksissa. Täydelliset vyöhyketaukset esitetään standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011).

a) Tuuli rakennuksen lyhyemmän sivun suuntaisesti,  $e > d$



b) Tuuli rakennuksen pidemmän sivun suuntaisesti,  $e < d$



Kuva 2. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio standardin EN 1991-1-4 mukaan.

Rakennuksen sisäpinnoille kohdistuva tuulenpaine lasketaan vastaavasti kuin ulkopinnoille kohdistuva paine kaavalla (8):

$$w_i = q_p(z_i) C_{pi}, \quad (8)$$

jossa

$w_i$	tarkasteltavaa pintaa vastaan kohtisuora tuulikuorma pintalaysikköä kohti
$q_p(z_i)$	tuulen nopeuspaine (voimapinta pintalaysikköä kohti)
$z_i$	sisäpuolisen paineen nousupainekorkeus
$C_{pi}$	sisäpuolisen paineen painekerroin. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 44.)

Sisäpuolisen paineen nousukorkeutena  $z_i$  käytetään rakennuksen korkeutta  $h$ . Sisäpuolisen paineen painekerroin  $C_{pi}$  määritellään rakennuksen vaipassa olevien aukkojen koon ja jakautumisen perusteella. Yksityiskohtaiset ohjeet sen määrittämiseen eri tilanteissa esitetään standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011). Standardissa SFS-EN 1991-1-4 (2011, 90) todetaan, että mikäli aukkojen ja ilmanvuotokohtien jakautumista ei tiedetä tarkkaan ja rakennus on lähes neliömäinen, sisäpuolisen paineen painekertoimenä käytetään joko arvoa  $C_{pi} = -0,3$  tai  $C_{pi} = +0,2$ . Arvo valitaan kussakin tapauksessa siten, että saadaan tuulen vaarallisin vaikutus. Jos esimerkiksi tarkastellaan tilannetta, jossa tuuli aiheuttaa rakennuksen ulkopinnoille

ylipainetta, tuulen vaarallisin vaikutus saadaan käyttämällä sisäpuolisen paineen painekertoimen arvoa  $C_{pi} = -0,3$ .

## 5 RAJATILAMITOITUS

Rajatilamitoituksessa varmistetaan, että rakenne kestää suunnitellun käyttöikänsä ajan siihen kohdistuvat kuormat ja säilyy käyttökelpoisena sille käyttötarkoitukselle, johon rakenne on alun perin suunniteltu.

Mitoitus on suoritettava erikseen sekä murto- että käyttörajatilassa, eikä mikään rajatila saa ylittyä. Mitoituksessa tulee käyttää perusteltuja kuormien sekä materiaali- ja tuoteominaisuuksien mitoitusarvoja. Tarkastelussa käytetään osavarmuusmenetelmää, jossa huomioidaan kuormiin ja materiaaleihin liittyvät epävarmuudet suurentamalla kuormia ja heikentämällä materiaaliomaisuuksia myöhemmin esitettävillä kertoimilla. Kuormien samanaikainen esiintyminen huomioidaan yhdistelykertoimilla. Sekä muuttuvat että pysyvät kuormat huomioidaan tarkastelussa. (SFS-EN 1990 2006, 56.)

### 5.1 Kuormien yhdistely

Rajatilatarkastelussa tarkasteltavat kuormitustapaukset on valittava huolellisesti. Kuormien vaikutusten mitoitusarvossa yhdistetään samanaikaisesti esiintyvät kuormien arvot. Mitoitusarvo koostuu siis osavarmuusluvuilla ja yhdistelykertoimilla kerrottujen pysyvien ja muuttuvien kuormien ominaisarvoista, jotka lasketaan yhteen tarkasteltavan rajatilan mukaisilla kuormitusyhdistelmäkaavoilla.

#### 5.1.1 Kuormien ja kuormitusyhdistelmien osavarmuusluvut

Kuormitusyhdistelmien mukaiset kuormien mitoitusarvot lasketaan ottamalla huomioon muuttuvien kuormien todennäköinen samanaikainen esiintyminen. Standardin SFS-EN 1990 (2006, 60) mukaan yhdistelykerrointa  $\psi_0$  käytetään murto- ja palautumattomien käyttörajatilojen kuormitusyhdistelmissä, tavallista kerrointa  $\psi_1$  onnettomuuskuormia sisältävien murto- ja palautuvien käyttörajatilojen kuormitusyhdistelmissä sekä pitkäaikaiskerrointa  $\psi_2$  mm. pitkäaikaisvaikutusten tarkastelussa. Yhdistelykertoimille  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  ja  $\psi_2$  on määritetty maakohtaiset suositusarvot, mutta kansallisessa liitteessä näistä arvoista voidaan poiketa.

Taulukossa 5 esitetään standardin SFS-EN 1990 (2006, 86) mukaiset hyötykuormien yhdistelykertoimet Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Maiden kansallisissa liitteissä ei ole poikettu suositusarvoista.

Taulukko 5. Standardin SFS-EN 1990 ja sen kansallisten liitteiden mukaiset yhdistelykertoimien arvot hyötykuormille asuintiloissa.

Alue	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Suomi	0,7	0,5	0,3
Norja			
Ruotsi			

Suomen, Ruotsin ja Norjan kansalliset yhdistelykertoimien arvot lumikuormalle esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Lumikuorman yhdistelykertoimien arvot Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (SFS-EN 1990 2006; kansalliset liitteet).

Lumikuorman ominaisarvo $s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] maanpinnalla			
SUOMI	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
$s_k < 2,75$	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$	0,7	0,5	0,2
RUOTSI	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
$s_k \geq 3,00$	0,8	0,6	0,2
$2,00 \leq s_k < 3,00$	0,7	0,4	0,2
$1,00 \leq s_k < 2,00$	0,6	0,3	0,1
NORJA	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
	0,7	0,5	0,2

Taulukossa 7 esitetään tuulikuorman yhdistelykertoimet. Suomi ja Norja ovat valinneet standardin SFS-EN 1990 (2006, 86) mukaiset kertoimet, kun taas Ruotsi on kansallisessa liitteessään poikennut standardin suositusarvoista.

Taulukko 7. Tuulikuorman yhdistelykertoimien arvot Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (SFS-EN 1990 2006+NA).

Alue	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Suomi	0,6	0,2	0
Norja			
Ruotsi	0,3	0,2	0



## 5.2 Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilat liittyvät ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Joissakin olosuhteissa murtorajatilat voivat liittyä myös aineen tai tavaran suojaamiseen. (SFS-EN 1990 2006, 52.)

### 5.2.1 Tarkasteltavat murtorajatilat

Murtorajatilamitoituksessa tarkastellaan jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetystä, liian suurta siirtymätilaa, rakenteen tai sen osan muuttumista mekanismiksi, katkeamista, rakenteen tai sen osan stabiiliuden menetystä ja ajasta riippuvaa vaurioitumista kuten väsymistä (RIL 201-1-2017, 27–28).

Koska opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan rakennuksen puurakenteiden mitoitukseen, esitetään tässä vain sitä koskevat murtorajatilat. Nämä ovat

- jäykkänä kappaleena tarkasteltavan rakenteen tai sen osan staattisen tasapainon menetys (EQU)
- rakenteen tai rakenneosien sisäinen vaurioituminen tai liian suuri siirtymätila, kun rakenteen rakennusmateriaalien lujuus on määräävä (STR).

### 5.2.2 Luotettavuuden hallinta murtorajatilamitoituksessa

Murtorajatilamitoitusta varten tulee valita suunniteltavien rakenteiden luotettavuustaso, jonka perusteella määräytyy kuormien kerroin. Luotettavuustason määrittämiseksi on standardin SFS-EN 1990 (2006, 136–140) liitteessä B annettu vaihtoehtoisia menetelmiä. Standardin kansallisissa liitteissä on määritetty, mitä menetelmää käytetään.

Suomessa on päädytty käyttämään menetelmää, jossa kuormien kerroin määräytyy seuraamusluokkien perusteella määräytyvän luotettavuusluokan mukaan. Pientalot kuuluvat luokkaan CC2, johon kuuluvissa rakennuksissa mahdollisen vaurion voidaan olettaa aiheuttavan keskisuuria seuraamuksia ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Seuraamusluokan CC2 mukainen luotettavuusluokka on RC2 ja kuormakerroin  $K_{FI}$  on 1,0. (RIL 201-1-2017, 26.)

Ruotsissa standardin EN 1990 kansallisessa liitteessä on määritelty kolme turvallisuusluokkaa. Luokassa 1 merkittävien henkilövahinkojen riski on vähäinen, luokassa 2 kohtalainen ja luokassa 3 suuri. Turvallisuusluokka määräytyy rakennusosittain. Puurakenteisten pientalojen rakenteet kuuluvat luokkaan 2. Turvallisuusluokan 2 mukainen, luotettavuustason huomioiva osavarmuuskerroin  $\gamma_d$  on 0,91. (Boverket 2016, 10.)

Norjan standardin EN 1990 kansallisessa liitteessä on määritetty neljä luottavuusluokkaa. Asuinrakennukset kuuluvat luokkaan 2, jolloin kuormakertoimen arvona on 1. (NS-EN 1990+NA 2016, 102.)

### 5.2.3 Murtorajatilán kuormitusyhdistelmät Suomessa

Rakenteiden kestävyyttä (STR) tarkasteltaessa kuormitusyhdistelmät ovat seuraavat:

$$\begin{cases} 1,15K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ 1,35K_{FI}G_{kj} \end{cases} \quad (9)$$

Rakenteiden staattista tasapainoa (EQU) tarkasteltaessa kuormitusyhdistelmä on seuraava:

$$1,1K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9K_{FI}G_{kj,inf} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (10)$$

Kaavoissa 10 ja 11 esiintyvät muuttujat ovat seuraavat:

$G_{kj}$	pysyvien kuormien ominaisarvo
$G_{kj,sup}$	edullinen osuus pysyvien kuormien ominaisarvosta
$G_{kj,inf}$	epäedullinen osuus pysyvien kuormien ominaisarvosta
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,i}$	muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
$K_{FI}$	seuraamusluokan perusteella valittava kuormakerroin
$\psi_{0,i}$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin. (RIL 205-1-2017, 27.)

### 5.2.4 Murtorajatilán kuormitusyhdistelmät Ruotsissa

Rakenteiden kestävyyttä (STR) tarkasteltaessa kuormitusyhdistelmät ovat seuraavat:

$$\begin{cases} \gamma_d 1,35G_{kj} + \gamma_d 1,5\psi_{0,1}Q_{k,1} + \gamma_d 1,5 \sum_{i>1} \psi_{0,i} G_{k,i} \\ \gamma_d 0,89 1,35 G_{kj} + \gamma_d 1,5 Q_{k,1} + \gamma_d 1,5 \sum_{i>1} \psi_{0,i} G_{k,i} \\ \gamma_d 1,35G_{kj} \end{cases} \quad (11)$$

Rakenteiden staattista tasapainoa (EQU) tarkasteltaessa kuormitusyhdistelmä on seuraava:

$$\gamma_d 1,1G_{kj,sup} + \gamma_d 1,4Q_{k,1} + \gamma_d 1,4 \sum_{i>1} \psi_{0,i} G_{k,i} \quad (12)$$

Kaavoissa 12 ja 13 esiintyvät muuttujat ovat seuraavat:

$G_{kj}$	pysyvien kuormien ominaisarvo
$G_{kj,sup}$	edullinen osuus pysyvien kuormien ominaisarvosta
$G_{kj,inf}$	epäedullinen osuus pysyvien kuormien ominaisarvosta
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$	muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\gamma_d$	turvallisuusluokan perusteella valittava kuormakerroin
$\psi_{0,i}$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin. (Boverket 2016, 25.)

### 5.2.5 Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät Norjassa

Rakenteiden kestävyyttä (STR) tarkasteltaessa kuormitusyhdistelmät ovat seuraavat:

$$\begin{cases} K_{FI}1,35G_{kj} + K_{FI}1,5\psi_{0,1}Q_{k,1} + K_{FI}1,5\sum_{i>1}\psi_{0,i}G_{k,i} \\ K_{FI}0,89\ 1,35\ G_{kj} + K_{FI}1,5\ Q_{k,1} + K_{FI}1,5\sum_{i>1}\psi_{0,i}G_{k,i} \end{cases} \quad (13)$$

Rakenteiden staattista tasapainoa (EQU) tarkasteltaessa kuormitusyhdistelmä on seuraava:

$$1,2G_{kj,sup} + 1,5Q_{k,1} + 1,5\sum_{i>1}\psi_{0,i}G_{k,i}. \quad (14)$$

Kaavoissa 14 ja 15 esiintyvät muuttujat ovat seuraavat:

$G_{kj}$	pysyvien kuormien ominaisarvo
$G_{kj,sup}$	edullinen osuus pysyvien kuormien ominaisarvosta
$G_{kj,inf}$	epäedullinen osuus pysyvien kuormien ominaisarvosta
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,i}$	muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\psi_{0,i}$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin. (NS-EN 1990+NA 2016, 103.)

### 5.3 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilat liittyvät rakenteen tai sen osien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten käyttömukavuuteen ja rakennuksen ulkonäköön. Käyttörajatiloja koskevat minimikriteerit on esitetty eurokoodeissa ja näiden kansallisissa liitteissä. Kohdekohtaisesti voidaan kuitenkin käyttää myös minimivaatimuksia tiukempia rajoja. Mitoituksessa tulee erottaa toisistaan palautuva ja palautumaton käyttörajatila. Tarkasteltavat käyttörajatilat valitaan kullekin rakenteelle tapauskohtaisesti, ja niitä voivat olla rakenteiden siirtymät, värähtelyt ja vauriot. Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät valitaan siten, että ne ovat kullekin rakenteelle tarkoituksenmukaisia. (SFS-EN 1990 2006, 54.)

## 6 PUURAKENTEIDEN MITOITUSPERIAATTEET

Luvussa esitellään lyhyesti kohteen rakennemitoituksessa tarvittavat keskeiset kestävyystarkastelut. Tarkastelut ovat samat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa, mikäli muuta ei ole mainittu.

## 6.1 Puu rakennusmateriaalina

Puu on vanhimpia käytettyjä rakennusmateriaaleja. Se on kevyt ja painonsa nähden kestävä materiaali, joka pystyy siirtämään sekä puristavia että vetäviä voimia. Puulla on hyvät lämmön- ja ääneneristysominaisuudet. Puu on helposti muokattava materiaali, ja sitä voidaan käyttää monipuolisesti eri rakenneosissa. Puulla on kuitenkin rajoittavia ominaisuuksia, jotka tulee ottaa huomioon rakenteiden mitoituksessa. Näitä ovat puun suuri kosteuseläminen ja anistrooppisuus eli ominaisuuksien erilaisuus pituus- ja poikittaissuunnissa. Puun syytä vastaan kohtisuora puristuslujuus on huomattavasti pienempi kuin sen suunsuuntainen puristuslujuus. (Porteous & Kermani 2013, 1–2.)

## 6.2 Käyttöluokat

Kosteusvaihtelun vaikutus puumateriaalin lujuusominaisuuksiin ja syntyviin muodonmuutoksiin huomioidaan lajittelemalla puurakenteet kolmeen käyttöluokkaan. Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 23) mukaisten käyttöluokkien määritelmät esitetään taulukossa 8. Suomen ja Norjan kansallisissa liitteissä on esitetty esimerkkejä käyttöluokkiin kuuluvista rakenteista, ja ne esitetään taulukossa 9.

Taulukko 8. Käyttöluokkien määritelmät standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaisesti.

Käyttöluokka 1	
Materiaalin kosteus	Lämpötilaa 20 °C vastaava; havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 12 %.
Ympäröivän ilman kosteus	Yli 65 % vain muutamana viikkona vuodessa.
Käyttöluokka 2	
Materiaalin kosteus	Lämpötilaa 20 °C vastaava; havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 20 %.
Ympäröivän ilman kosteus	Yli 85 % vain muutamana viikkona vuodessa.
Käyttöluokka 3	
Materiaalin kosteus	Suurempi kuin käyttöluokassa 2.
Ympäröivän ilman kosteus	Suurempi kuin käyttöluokassa 2.

Taulukko 9. Maakohtaiset esimerkit rakenteiden sijoittumisesta eri käyttöluokkiin (SFS-EN 1995-1-1 2014, 23 + NA).

<b>Käyttöluokka 1</b>	
Suomi	Norja
Rakenteet, jotka ovat lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa. Yleensä myös lämpöeriste-kerroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisällä.	Kantavat rakenteet sisätiloissa, jotka ovat yleensä lämmitettyjä. Yläpohjat ja kantavat kattorakenteet kylmissä mutta tuuletetuissa ullakotiloissa yleensä lämmitettyjen tilojen yläpuolella. Yleensä lämmitettyjen rakennusten ulkoseinät, joissa on kosteussulku lämpimällä puolella ja tuulensuoja.
<b>Käyttöluokka 2</b>	
Suomi	Norja
Ulkoilmassa kuivana olevat puurakenteet, joiden tulee olla katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattuja. Esimerkiksi rossipohjan ja kylmän ullakotilan puurakenteet.	Kantavat rakenteet rakennuksissa, jotka ovat tuuletettuja mutta eivät yleensä lämmitettyjä. Vesikaton umpilaudoitus. Ulkona olevat rakenteet, jotka ovat sateelta ja vedeltä hyvin suojattuja.
<b>Käyttöluokka 3</b>	
Suomi	Norja
Ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena olevat puurakenteet.	Rakenteet, joita ei ole suojattu sateelta eikä vedeltä. Rakenteet, jotka ovat suorassa kosketuksessa maan kanssa. Lisähuomautus: peitetyn rakenteen voidaan olettaa kuuluvan käyttöluokkaan 3 vain poikkeustapauksissa.

### 6.3 Kuormien aikaluokat

Kuorman kesto vaikuttaa merkittävästi puun lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin, joten luvun 4.1 mukainen luokittelu ajallisesti pysyviin, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin ei ole riittävän tarkka. Standardissa SFS-EN 1995-1-1 (2014, 23) kuormat on jaettu ajallisen keston perusteella viiteen

luokkaan. Luokat on esitetty taulukossa 10 sekä Suomen, Ruotsin ja Norjan kansalliset valinnat kuormien jaottelusta taulukossa 11.

Taulukko 10. Kuormien aikaluokat standardin EN 1995-1-1 mukaan.

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan kertymän suuruusluokka
Pysyvä	yli 10 vuotta
Pitkäaikainen	6 kuukautta - 10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle 1 viikko
Hetkellinen	

Taulukko 11. Kuormien jaottelut standardin EN 1995-1-1 mukaisiin aikaluokkiin Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa.

Kuorman aikaluokka	ESIMERKKEJÄ KUORMISTA		
	Suomi	Ruotsi	Norja
Pysyvä	Omapaino	Omapaino	Omapaino
Pitkäaikainen	Varastojen tavarakuormat	Varastojen hyötykuormat	Varastointi
Keskipitkä	Lumikuorma Hyötykuorma, portaat ja parvekkeet (luokka A)	Hyötykuormat (paitsi varastorakennukset) Lumikuorma	Lattian hyötykuorma
Lyhytaikainen	Hyötykuorma, portaat Hyötykuorman pistekuorma	Tuulikuorma	Lumikuorma
Hetkellinen	Tuulikuorma Onnettomuuskuorma	Tuulenpuuskat Onnettomuuskuorma Yksittäiset kuormakeskittymät vesikatolla	Tuulikuorma Onnettomuuskuorma

#### 6.4 Materiaaliominaisuuden mitoitusarvo

Mitoituksessa tarkasteltavan materiaalin lujuudessa tulee ottaa huomioon materiaaliin liittyvä epävarmuus osavarmuuskertoimen avulla sekä kuorman kesto ja käyttöympäristön kosteusolosuhteet. Lujuusominaisuuden mitoitusarvo  $X_d$  lasketaan yleisesti kaavalla 15:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (15)$$

jossa

$X_k$  lujuusominaisuuden ominaisarvo

$\gamma_M$  materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

$k_{\text{mod}}$  kuorman keston ja kosteuden vaikutuksen huomioiva muunnoskerroin. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 25.)

Taulukossa 12 esitetään kansalliset valinnat eri puumateriaalien jäykkyyss- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluvuiksi.

Taulukko 12. Puumateriaalien jäykkyyss- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluvut  $\gamma_M$ .

Materiaali	Suomi	Ruotsi	Norja
Sahatavara ja pyöreä puutavara	1,3	1,3	1,25
Liimapuu, CLT	1,25	1,25	1,15
LVL, vaneri, OSB-lastulevy	1,2	1,2	1,15
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3	1,3	1,3
Liitokset	1,3	1,3	1,3
Naulalevyliitokset:			
-tartuntalujuus	1,25	1,25	1,25

Kuorman keston ja materiaalin käyttöympäristön huomioivan muunnoskerroimen  $k_{\text{mod}}$  arvot eri käyttöluokissa esitetään standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 28) taulukossa 3.1. Arvot ovat kaikille standardeja soveltaville maille yhteisiä. Kerroin valitaan mitoittavan kuormitusyhdistelmän lyhytaikaisimman kuorman keston aikaluokan perusteella.

Kosteusolosuhteiden ja kuorman keston lisäksi puumateriaalin lujuuteen vaikuttaa tarkasteltavan elementin koko. Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 27) mukaisesti sahatavaran taivutus- ja vetolujuutta voidaan suurentaa kertoimella  $k_h$ , jos sauvan suurempi sivumitta on korkeintaan 150 mm. Kerroin  $k_h$  lasketaan kaavalla

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3, \quad (16)$$

jossa  $h$  taivutetun palkin poikkileikkauksen korkeus tai vedetyn sauvan leveys [mm].

Samalla tavalla liimapuun taivutus- ja vetolujuutta voidaan suurentaa kertoimella  $k_h$ , jos taivutetun palkin poikkileikkauksen korkeus tai vedetyn sauvan suurempi sivumitta on alle 600 mm. Tällöin kerroin  $k_h$  lasketaan kaavalla

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,2} \leq 1,1, \quad (17)$$

jossa  $h$  taivutetun palkin poikkileikkauksen korkeus tai vedetyn sauvan leveys [mm]. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 29.)

Myös LVL-sauvan koon vaikutus huomioidaan sen taivutus- ja vetolujuudessa. Taivutuslujuutta pienennetään tai suurennetaan kertoimella  $k_h$  syjällä taivutetun LVL-palkin korkeuden mukaan. Mikäli palkin korkeus on alle 300 mm, sen taivutuslujuutta voidaan suurentaa kertoimella  $k_h$ , ja mikäli palkin korkeus on yli 300 mm, se taivutuslujuutta pienennetään kertoimella  $k_h$ . Kerroin  $k_h$  lasketaan kaavalla

$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^s \leq 1,2, \quad (18)$$

jossa  
 $h$  palkin korkeus [mm]  
 $s$  LVL:n kokovaikutuseksponentti. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 30.)

## 6.5 Keskeiset murtorajatilan poikkileikkauksen kestävyystarkastelut

### 6.5.1 Syysuuntainen veto

Syysuuntaisen vedon mitoitusehto on

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}, \quad (19)$$

jossa  
 $\sigma_{t,0,d}$  syysuuntaisen vetojännityksen mitoitussarvo  
 $f_{t,0,d}$  vetolujuuden mitoitussarvo syysuuntaisessa vedossa (SFS-EN 1995-1-1 2014, 36).

### 6.5.2 Syysuuntainen puristus

Syysuuntaisen puristuksen mitoitusehto on

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}, \quad (20)$$

jossa  
 $\sigma_{c,0,d}$  syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitussarvo  
 $f_{c,0,d}$  puristuslujuuden mitoitussarvo syysuuntaisessa puristuksessa (SFS-EN 1995-1-1 2014, 36).

### 6.5.3 Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus

Syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuksen mitoitusehto on

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}, \quad (21)$$

jossa



$\sigma_{c,90,d}$	kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo
$f_{c,90,d}$	puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$k_{c,90}$	kerroin, jolla otetaan huomioon kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus (SFS-EN 1995-1-1 2014, 36–37).

Kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen arvo saadaan jakamalla kohtisuoran puristavan kuorman mitoitusarvo  $F_{c,90,d}$  syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman tehollisen kosketuspinnan pinta-alalla  $A_{ref}$ . Kosketuspinnan pinta-ala saadaan lisäämällä teholliseen kosketuspinnan pituuteen molemmin puolin kosketuspintaa minimiarvo mitoista  $a$  (kosketuspinnan etäisyys tuen reunasta),  $l$  (todellisen kosketuspituus) ja  $l_1/2$  (puolet kosketuspintojen välisestä etäisyydestä). Tämä kerrotaan kosketuspinnan leveydellä  $b$ . (SFS-EN 1995-1-1 2014, 37.)

Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 37) mukaan kertoimen  $k_{c,90}$  arvona käytetään lukua 1,0, ellei jokin seuraavista ehdoista täyty:

- tuen ollessa jatkuva ja puristuspintojen välisen etäisyyden  $l_1$  ollessa vähintään palkin poikkileikkauksen korkeuteen  $h$  nähden kaksinkertainen ( $l_1 \geq 2h$ ):
  - $k_{c,90}=1,25$  havupuiselle sahatavaralle
  - $k_{c,90}=1,5$  havupuiselle liimapuulle
- erillisillä tuilla oleva palkki, joka on kuormitettu jatkuvalla kuormalla tai pistemäisellä kuormalla, joka on kauempana tuelta kuin  $2h$ :
  - $k_{c,90}=1,5$  havupuiselle sahatavaralle
  - $k_{c,90}=1,75$  havupuiselle liimapuulle (puristuspinnan pituus  $l \leq 400$  mm).

Kerroin  $k_{c,90}$  voi siis saada korkeintaan arvon 1,75.

#### 6.5.4 Taivutus

Taivutuksen mitoitussehtoja on kaksi, ja niiden molempien tulee täyttyä. Mitoitusehdot esitetään alla kaavoissa 22 ja 23.

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (22)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (23)$$

joissa

$\sigma_{m,y,d}$	y-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo
$\sigma_{m,z,d}$	z-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo
$f_{m,y,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa y-akselin suhteen

$f_{m,z,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa z-akselin suhteen
$k_m$	kerroin, jolla huomioidaan taivutusjännitysten jakautuminen poikkileikkauksessa. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 38.)

Kerroin  $k_m$  valitaan puumateriaalin ja elementin muodon perusteella. Suorakaidepoikkileikkauksille se saa arvon 0,7 sahatavaralle, liimapuulle ja LVL:lle. Muunmuotoisille poikkileikkauksille ja muille puisille rakennetuotteille yleisesti kerroin  $k_m$  saa arvon 1,0. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 38.)

### 6.5.5 Leikkaus

Kun leikkausjännityksellä on syysuuntaisessa tasossa syysuuntainen komponentti tai leikkausjännityskomponentit ovat kummassakin syysuuntaisessa tasossa kohtisuorassa syysuuntaa vastaan, leikkauksen mitoitusehto on seuraava:

$$\tau_d \leq f_{v,d}, \quad (24)$$

jossa

$\tau_d$	leikkausjännityksen mitoitusarvo
$f_{v,d}$	vallitsevaa tilannetta vastaava leikkauslujuuden mitoitusarvo (SFS-EN 1995-1-1 2014, 38.)

Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 38) mukaan palkin mitoituksessa mitoitettavan leikkausjännityksen määrittämisessä tukien läheisyydessä palkin yläpintaan vaikuttavasta pistekuormasta voidaan jättää huomioimatta se osa, joka sijaitsee enintään etäisyydellä  $h$  (palkin korkeus tuen reunassa) tai  $h_{ef}$  (palkin tehollinen korkeus tuen reunassa) tuen reunasta. Samoin tasaisesti jakautuneen kuorman vaikutus voidaan osittain jättää huomioimatta. Lovetun palkin lisäehtona on, että lovi sijaitsee tukeen nähden vastakkaisella puolella.

Mikäli mitoitettavaan sauvaan kohdistuu lisäksi taivutusjännitystä, sen leikkauskestävyyden määrittämisessä käytetään sauvan leveyden  $b$  sijaan tehollista leveyttä  $b_{ef}$ , joka lasketaan kaavalla

$$b_{ef} = k_{cr} b, \quad (25)$$

jossa

$k_{cr}$	halkeamien vaikutuksen huomioiva kerroin
$b$	sauvan poikkileikkauksen leveys. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 38.)

Kertoimen  $k_{cr}$  määrittämisessä on tehty kansallisia valintoja, jotka esitetään taulukossa 13.

Taulukko 13. Kertoimen  $k_{cr}$  kansalliset valinnat (EN 1995-1-1 2014 + NA).

SUOMI
<b><math>k_{cr}=0,67</math></b> -sahatavara lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa <b><math>k_{cr}=1,0</math></b> -liimapuu lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteus-olosuhteissa -sahatavara ja liimapuu pysyvästi käyttöluokkaa 2 tai 3 vastaavissa kosteus-olosuhteissa -puulevyt -LVL -CLT
RUOTSI
<b><math>k_{cr}=0,67</math></b> -liimapuu ja sahatavara, joka on kokonaan tai osittain sateelle ja auringonpaisteella alttiina <b><math>k_{cr}=1,0</math></b> -liimapuu ja sahatavara muulloin -muut puutuotteet
NORJA
<b><math>k_{cr}=0,67</math></b> -sahatavara ja liimapuu <b><math>k_{cr}=1,0</math></b> -muut puutuotteet

## 6.6 Keskeiset murtorajatilan poikkileikkauksen kestävyystarkastelut yhdistettyjen jännitysten tapauksessa

### 6.6.1 Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutus

Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutuksen mitoitussehtoja on kaksi, ja niiden molempien tulee täyttyä. Ehdot esitetään kaavoissa 26 ja 27:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (26)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (27)$$

joissa

$\sigma_{t,0,d}$  syysuuntaisen vetojännityksen mitoitusarvo  
 $f_{t,0,d}$  vetolujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa vedossa  
 $\sigma_{m,y,d}$  y-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo

$\sigma_{m,z,d}$	z-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo
$f_{m,y,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa y-akselin suhteen
$f_{m,z,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa z-akselin suhteen
$k_m$	kerroin, jolla huomioidaan taivutusjännitysten jakautuminen poikkileikkauksessa. Kertoimen arvot ovat samat kuin luvussa 6.5.4. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 40.)

### 6.6.2 Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus

Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksen mitoitussehtoja on kaksi, ja niiden molempien tulee täytyä. Ehdot on esitetty kaavoissa 28 ja 29.

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (28)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (29)$$

joissa

$\sigma_{c,0,d}$	syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo
$f_{c,0,d}$	puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa vedossa
$\sigma_{m,y,d}$	y-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo
$\sigma_{m,z,d}$	z-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo
$f_{m,y,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa y-akselin suhteen
$f_{m,z,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa z-akselin suhteen
$k_m$	kerroin, jolla huomioidaan taivutusjännitysten jakautuminen poikkileikkauksessa. Kertoimen arvot ovat samat kuin luvussa 6.5.4. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 40.)

### 6.6.3 Puristetun sauvan nurjahduskestävyys sekä puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutus

Puristetun sauvan nurjahduskestävyyden määrittämiseksi tarvitaan sauvan suhteelliset hoikkuudet pääakselien z ja y suhteen, ja ne lasketaan kaavoilla 30 ja 31.

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (30)$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (31)$$

joissa

$\lambda_y$	taivutusta y-akselin suhteen vastaava hoikkuusluku
$\lambda_z$	taivutusta z-akselin suhteen vastaava hoikkuusluku
$f_{c,0,k}$	puristuslujuuden ominaisarvo syysuuntaisessa vedossa
$E_{0,05}$	viiden prosentin fraktiilia vastaava, syysuuntaista kuormitusta vastaavan kimmokertoimen arvo. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 41.)

Puristetun sauvan hoikkuusluku y-akselin suhteen lasketaan kaavalla 32.

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y}, \quad (32)$$

jossa

$L_{c,z}$	nurjahduspituus z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa
$i_y$	poikkileikkauksen jäyhyyssäde y-akselin suhteen.

Suorakaidepoikkileikkauksille poikkileikkauksen jäyhyyssäde y-akselin suhteen lasketaan kaavalla  $i_y = h/\sqrt{12}$ , jossa h on suorakaidepoikkileikkauksen korkeus. Hoikkuusluku z-akselin suhteen lasketaan vastaavalla tavalla. (RIL 205-1-2017, 79.)

Nurjahduspituuden  $L_{c,z}$  laskentakaava valitaan sauvojen päiden tuentatapojen perusteella. Normaali tuentatapa puurakenteissa on niveellinen liitos sauvan molemmissa päissä. Tällöin nurjahduspituus lasketaan kaavalla

$$L_{c,z} = 1,0L, \quad (33)$$

jossa

L	pilarin pituus.
---	-----------------

Jos sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa tietyn välein (=a), nurjahduspituudeksi saadaan  $L_{c,z} = 1,0a$ . (RIL 205-1-2017, 80.)

Puristuksen ja taivutuksen mitoitus-ehdot on kaksi, ja niiden molempien tulee toteutua. Mitoitusehdot esitetään kaavoissa 34 ja 35.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (34)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (35)$$

joissa

$\sigma_{c,0,d}$	syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo
$f_{c,0,d}$	puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa vedossa
$\sigma_{m,y,d}$	y-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo

$\sigma_{m,z,d}$	z-akselin suhteen tapahtuvan taivutuksen aiheuttaman jännityksen mitoitusarvo
$f_{m,y,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa y-akselin suhteen
$f_{m,z,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo taivutuksessa z-akselin suhteen
$k_m$	kerroin, jolla huomioidaan taivutusjännitysten jakautuminen poikkileikkauksessa. Kertoimen arvot ovat samat kuin luvussa 6.5.4. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 41.)

Kaavoissa 34 ja 35 esiintyvät k-kertoimet lasketaan kaavoilla 36 ja 37.

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (36)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \quad (37)$$

joissa kertoimet  $k_y$  ja  $k_z$  lasketaan kaavoilla 38 ja 39.

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (38)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2). \quad (39)$$

Kaavoissa 38 ja 39 esiintyvä kerroin  $\beta_c$  saa arvon 0,2 sahatavaralle ja 0,1 liimapuulle ja LVL:lle. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 41.)

Jos suhteellisten hoikkeuksien arvot ovat korkeintaan 0,3, oletetaan, ettei sauva ole nurjahdusherkkä. Mitoitusehtoja (kaavat 34 ja 35) ei siis silloin tarvitse tarkistaa, vaan kaavojen 28 ja 29 mukaisten mitoitusehtojen tarkistaminen riittää. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 41.)

#### 6.6.4 Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys

Sauvan kiepahduskestävyys tulee tarkistaa silloin, kun siihen vaikuttaa momentti  $M_y$  tai momentin  $M_y$  ja puristusvoiman  $N_c$  yhdistelmä.

Kun sauvaan vaikuttaa pelkkä taivutusmomentti  $M_y$ , mitoitusehto on seuraava:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}, \quad (40)$$

jossa

$\sigma_{m,d}$	taivutusjännityksen mitoitusarvo
$f_{m,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo
$k_{crit}$	kerroin, jolla otetaan huomioon kiepahdusriskin aiheuttama taivutuskestävyyden pienentyminen. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 42.)

Kun palkkiin vaikuttaa sekä momentti pääakselin y suhteen  $M_y$  että puristusvoima  $N_c$ , mitoitusehto on

$$\left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (41)$$

jossa

$k_z$  lasketaan kaavalla 39 (SFS-EN 1995-1-1 2014, 43).

Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2015, 43) mukaan kerroin  $k_{crit}$  määritetään seuraavalla ehdolla:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1, & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m}, & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2}, & \text{kun } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases}. \quad (42)$$

Edelleen standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 43) mukaan kertoimen  $k_{crit}$  arvona voidaan käyttää lukua 1,0, mikäli palkin puristettu reuna ei pääse siirtymään poikittaisessa suunnassa eikä palkki pääse kiertymään tuillaan pituusakselinsa ympäri.

Kaavassa 42 esiintyvä suhteellinen hoikkuus taivutuksen yhteydessä lasketaan kaavalla

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \quad (43)$$

jossa

$f_{m,k}$  taivutuslujuuden ominaisarvo

$\sigma_{m,crit}$  kriittinen taivutusjännitys (SFS-EN 1995-1-1 2014, 42).

Kriittinen taivutusjännitys  $\sigma_{m,crit}$  lasketaan yleisesti standardin SFS-EN 1995-1-1 (2015, 42) kaavalla 6.3.1, mutta suorakaiteen muotoisen havupalkin laskentakaava voidaan yksinkertaistaa muotoon

$$\sigma_{m,crit} = \frac{cb^2}{h l_{ef}} E_{0,05}, \quad (44)$$

jossa

$c$  kerroin, joka yleisesti saa arvon 0,78 havupuupalkille

$b$  palkin leveys

$h$  palkin korkeus

$l_{ef}$  palkin tehollinen pituus

$E_{0,05}$  viiden prosentin fraktiilia vastaava, syysuuntaista kuormitusta vastaavan kimmokertoimen arvo. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 42.)

Kaavassa 44 esiintyvä kerroin  $c$  saa standardin SFS-EN 1995-1-1 (2015, 42) mukaan arvon 0,78 palkin ollessa havupuuta. Ruotsissa ja Norjassa ei

ole esitetty kansallisissa liitteissä standardin määrittämisestä poikkeavaa arvoa. Suomessa (RIL 205-1-2017) on kuitenkin päädytty määrittelemään kerroin  $c$  taulukon 14 mukaisesti.

Taulukko 14. Kertoimen  $c$  arvot Suomessa (RIL 205-1-2017, 84–85).

Kerroin $c$					
0,78	0,72	0,70	0,68	0,67	0,58
havupuu-sahatavara	halkaistu liimapuu GL30cs	liimapuu GL30c ja GL30hs	homogeeninen liimapuu GL30h	Kerto-Q-LVL	Kerto-S-LVL, Kerto-T-LVL

Kaavassa 44 esiintyvän tehollisen pituuden  $l_{ef}$  laskentakaava määräytyy palkin tuentahtojen ja kuormituksen jakautumisen mukaan. Laskentakaavat on esitetty taulukossa 15. Lisäehtona taulukossa esitetyille arvoille on, ettei palkki saa päästä kiertymään tuillaan pituusakselinsa ympäri ja että kuormitus vaikuttaa palkin painopisteen korkeudella. Mikäli kuormitus vaikuttaa palkin puristetun reunan korkeudella, tehollisen pituuden  $l_{ef}$  arvoon lisätään kaksi kertaa palkin korkeus. Jos taas kuormitus vaikuttaa palkin vedetyn reunan korkeudella, tehollisen pituuden  $l_{ef}$  arvosta vähennetään puoli kertaa palkin korkeus. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 43.)

Taulukko 15. Tehollisen pituuden  $l_{ef}$  laskentakaava (SFS-EN 1995-1-1 2014 43).

Palkin tuenta	Kuormituksen tyyppi	$l_{ef}$
Vapaasti tuettu	Vakiomomentti	1,0 $l$
	Tasaisesti jakautunut kuorma	0,9 $l$
	Pistekuorma jänteen keskellä	0,8 $l$
Uloke	Tasaisesti jakautunut kuorma	0,5 $l$
	Pistekuorma jänteen keskellä	0,8 $l$

## 6.7 Keskeiset käyttörajatilan tarkastelut

### 6.7.1 Taipuman rajoittaminen

Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 50) mukaan rakenneosan taipumia tulee rajoittaa. Joissakin tapauksissa käyttörajatilan taipuman rajoittaminen osoittautuu mitoittavaksi ehdoksi. Lopputaipuma muodostuu taulukon 16 mukaisista osista.



Taulukko 16. Taipumien selitykset (SFS-EN 1995-1-1 2014, 50).

Lyhenne	Selitys
$w_c$	esikorotus
$w_{inst}$	hetkellinen taipuma
$w_{creep}$	virumasta syntyvä lisätaipuma
$w_{fin}$	kokonaistaipuma
$w_{net,fin}$	lopputaipuma

Edelleen standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 51) mukaan lopputaipuman laskentakaava on

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} = w_{fin} - w_c. \quad (45)$$

Standardi SFS-EN 1995-1-1 (2014, 51) mahdollistaa taipumarajojen määrittämisen kansallisesti. Ruotsin kansallisessa liitteessä (Boverket 2016, 126) todetaan, että taipuman raja-arvot voidaan määritellä tapauskohtaisesti. Lisäksi ohjeena on, että myös rakennuttaja voi itse valita raja-arvot ottaen huomioon ulkonäköön ja käyttömukavuuteen vaikuttavat asiat. Norjan kansallisessa liitteessä (NS-EN 1995-1-1+NA, 3) viitataan standardiin NS-EN 1990:2002. Standardissa NS-EN 1990:2002 on puolestaan määritetty kuormitustilanteet, jotka valitaan taipuman aiheuttamien seurausten perusteella.

Suomen kansallisessa liitteessä (RIL 205-1-2017, 98) taipumien raja-arvot on määritetty rakennetyypeittäin taulukon 17 mukaisesti. Taulukossa 17 esitettävä kokonaistaipuman  $w_{inst}$  arvo koskee lattioita ja lopputaipuman  $w_{net,fin}$  arvo suoria ja esikoroitettuja rakenteita.

Taulukko 17. Taipumien enimmäisarvot (RIL 205-1-2017, 98).

Rakenne	Kokonaistaipuma $w_{inst}$	Lopputaipuma $w_{net,fin}$
Pääkannattimet	L/400	L/300
Orret ja muut toisio-kannattimet	-	L/200

### 6.7.2 Värähtely

Puurakenteiset väli- ja alapohjat ovat kevytrakenteisia, joten niillä on taipumus reagoida lyhytkestisiin kuormaimpulsseihin kuten askeliin tai hyppyihin. Näiden reaktioiden suuruus tulee tarkistaa väli- ja alapohjien mitoituksen yhteydessä. Standardissa SFS-EN 1995-1-1 (2014, 51) esitetään menetelmä asuinrakennusten lattioiden värähtelyn laskentaan, kun lattia

määritellään kevytrakenteiseksi. Standardissa on kuitenkin annettu mahdollisuus valita värähtelymitoituksen periaatteet kansallisesti. Ruotsissa ja Norjassa on päädytty käyttämään standardin esittämää värähtelymitoitustapaa, kun taas Suomessa käytetään omaa mitoitustapaa NCC 2 (RIL 205-1-2017, 99–101).

Kummassakin menetelmässä on määritettävä lattian alin ominaistaajuus  $f_1$ . Standardin mukaan lattian ominaistaajuuden tulee standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 51) mukaan olla vähintään 8 Hz. Tämä on myös Ruotsin ja Norjan raja-arvona. Suomessa on päädytty tiukempaan raja-arvoon: 9 Hz.

Kun lattia on suorakaiteen muotoinen ja sen kaikki neljä reunaa ovat puupalkeilla vapaasti tuettuja, lattian alin ominaistaajuuden  $f_1$  likimääräinen arvo lasketaan kaavalla 46:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}, \quad (46)$$

jossa

$m$	lattian massa tilavuusyksikköä kohden [kg/m <sup>3</sup> ]
$l$	lattian jänneväli [m]
$(EI)_l$	lattialaatan ekvivalentti taivutusjäykkyys palkin suuntaa vastaan kohtisuoran akselin suhteen (eli kantavaa suuntaa vastaan taivutusjäykkyys) lattian leveysyksikköä kohti [Nm <sup>2</sup> /m].

Kaava 46 pätee sekä standardin että Suomen oman värähtelymitoituksen mukaiselle ominaistaajuudelle. (SFS-EN 1995-1-1 2014, 52.)

Standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 52–53) mukaisessa menetelmässä värähtelykriteerit määritellään kaavoilla 47 ja 48:

$$\frac{w}{F} \leq a \text{ mm/kN} \quad (47)$$

$$v \leq b f_1^{\xi-1}, \quad (48)$$

joissa

$w$	suurin hetkellinen taipuma, jonka aiheuttaa staattinen pystysuora pistekuorma $F$ , joka vaikuttaa missä tahansa lattian kohdassa ottaen huomioon kuorman jakautumisen
$v$	yksikköimpulssin aiheuttama lattian pystysuoran värähtelyn nopeuden suurin alkuarvo [m/s], jonka aiheuttaa ideaalinen yksikköimpulssi (1 Ns), joka asetetaan vaikuttamaan suurimman vasteen aiheuttamaan lattian kohtaan
$\xi$	värähtelymuotoa vastaava vaimennussuhde, joka saa arvon 1 %
$a$	taipuman yläparametri
$b$	nopeusvasteen yläparametri.

Suorakaiteen muotoiselle ja neljältä sivulta vapaasti tuetulle lattialle (leveys  $b$  ja jänneväli  $l$ ) värähtelynopeuden  $v$  likimääräinen alkuarvo lasketaan kaavalla 49:

$$v = \frac{4(0,4+0,6n_{40})}{m b l+200}, \quad (49)$$

jossa

$m$	lattian massa tilavuusyksikköä kohden [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$b$	lattian leveys [m]
$l$	lattian jänneväli [m]
$n_{40}$	sellaisten ominaismuotojen lukumäärä, joita vastaava ominaistaajuus on enintään 40 Hz. (SF-EN 1995-1-1 2014, 52.)

Edelleen standardin SFS-EN 1995-1-1 (2014, 52) mukaan ominaismuotojen lukumäärä  $n_{40}$  lasketaan kaavalla

$$n_{40} = \left\{ \left[ \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \left( \frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25}, \quad (50)$$

jossa

$(EI)_b$	lattialaatan pienempi eli leveyssuuntaa vastaava taivutusjäykkyys [ $\text{Nm}^2/\text{m}$ ].
----------	---

Kaavoissa 47 ja 48 olevien symbolien  $a$  ja  $b$  arvot voidaan määrittellä kansallisesti. Ruotsissa  $a$ :n arvoksi on valittu 1,5 mm ja  $b$ :n arvoksi 100  $\text{m}/\text{Ns}^2$ . Norjassa 4,5 metrin jänneväliin asti  $a$ :n arvoksi on valittu 0,9  $\text{mm}/\text{kN}$  (normaali jäykkyys) ja 0,6  $\text{mm}/\text{kN}$  (korkea jäykkyys).

Suomen värähtelytarkastelun laskentakaavat poikkeavat yllä esitetystä standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaisesta menettelystä. Kansallisen liitteen mukaan yhteen suuntaan kantavan lattiarakenteen tapauksessa ja lattian alimman ominaistaajuuden  $f_1$  ollessa vähintään 9 Hz lattiapalkin kohdalla sijaitseva 1 kN:n suuruinen pistekuorma  $F$  saa aiheuttaa korkeintaan 0,5 mm:n hetkellisen taipuman. Hetkellinen taipuma  $\delta$  lasketaan kaavalla 46:

$$\delta = \min \left\{ \frac{F l^2}{42 k_\delta (EI)_l}, \frac{F l^3}{48 s (EI)_l} \right\}, \quad (51)$$

jossa

$s$	lattiapalkkien välinen etäisyys [m]
$k_\delta$	lasketaan kaavalla 47:

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (52)$$

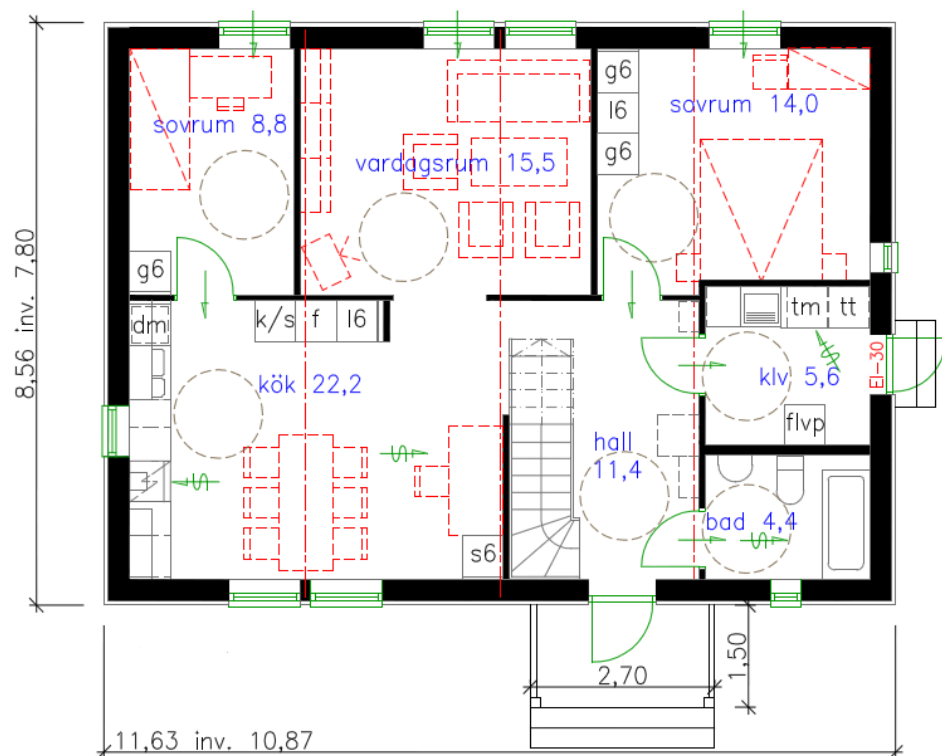
Kerroin  $k_\delta$  saa olla korkeintaan lattian leveyden ja pituuden suhteen  $b/l$  suuruinen.

## 7 KOHTEEN YLEISKUVAUS

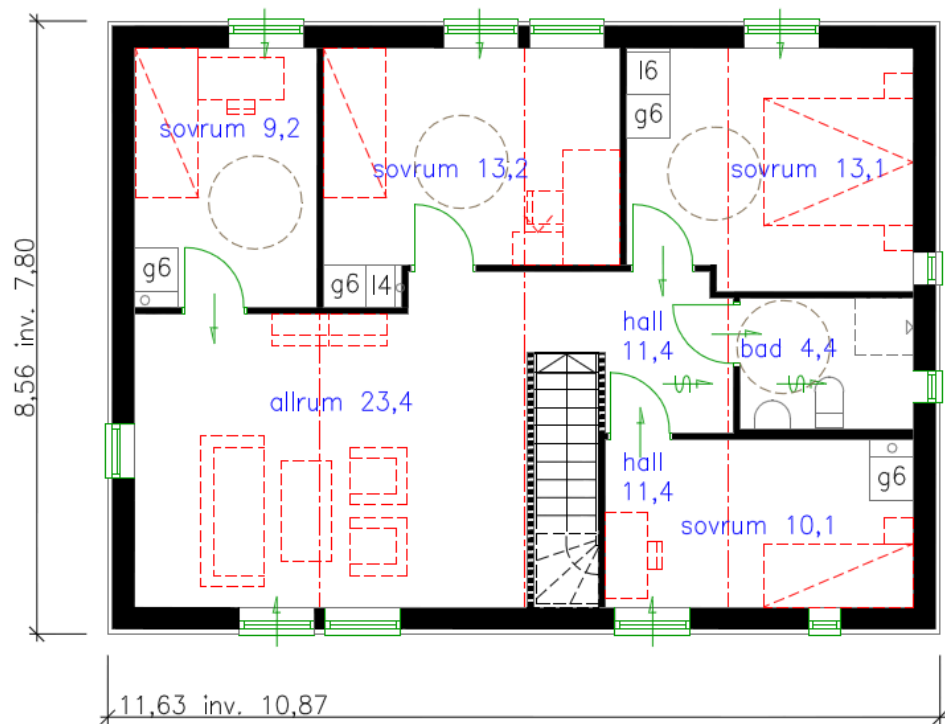
Luvussa esitetään kohteen rakenteet yleisellä tasolla sekä rakennesuunnitteluun tarvittavat lähtötiedot.

### 7.1 Rakennuksen yleiset ominaisuudet

Rakennuksessa on kaksi kerrosta, joiden alustavat pohjapiirustukset esitetään kuvissa 3 ja 4.



Kuva 3. Kohderakennuksen alustava pohjapiirustus, alakerta (Älvsbyhus AB 2018c).



Kuva 4. Kohderakennuksen alustava pohjapiirustus, yläkerta (Älvsbyhus AB 2018d).

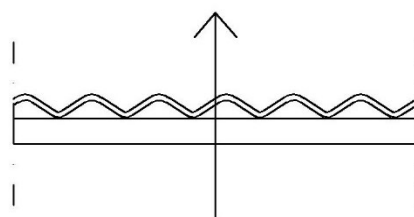
Rakennesuunnitteluun tarvittavat rakennuksen tiedot:

- Rakennuksessa on kaksi kerrosta.
- Rakennus kuuluu maastoluokkaan II.
- Seuraamusluokka on CC2.
- Kuormat, osavarmuuskertoimet ja yhdistelykertoimet määräytyvät standardin EN 1991 (2009) ja sen kansallisten liitteiden mukaisesti.

Rakennesuunnittelun kannalta tärkeä lähtötieto on lumikuorman arvo maassa. Se määräytyy rakennesuunnittelun perusteella, sillä opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millä maanpinnan lumikuorman ominaisarvolla rakennus voidaan toteuttaa tällä hetkellä käytössä olevilla materiaaleilla ja rakennetyypeillä.

## 7.2 Yläpohjarakenteet

Rakennuksen vesikatto rakennetaan rakennuspaikalla. Vesikate voi olla joko peltiä tai tiiltä. Vesikaton rakennevaihtoehdot on esitetty kuvassa 5.

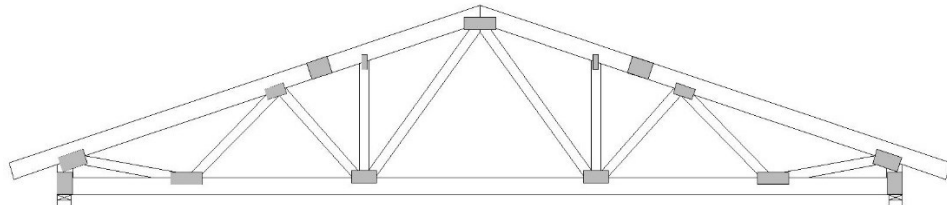


47x61  
12x45

kattopelti  
kattoruoteet  
tuuletusrimoitus  
verkkovahv. aluskate

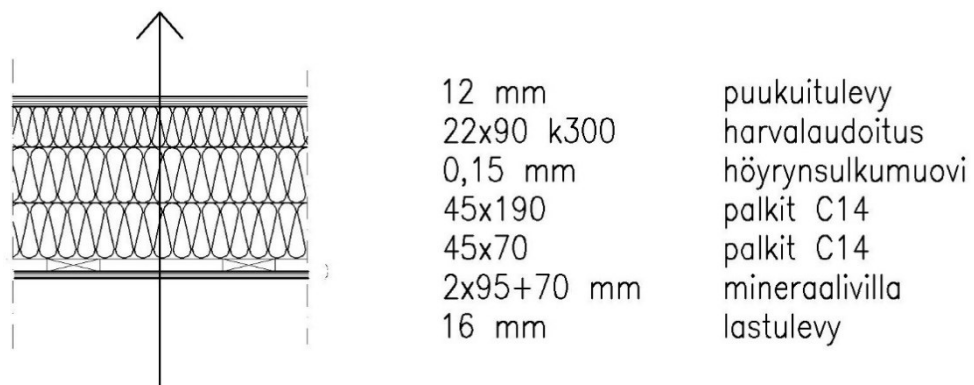
Kuva 5. Vesikaton rakenne (Älvsbyhus AB 2018e).

Yläpohja toteutetaan paikallarakennettuna. Kattotuoli on tyypiltään harjaristikko. Kattokulma on 18,43 astetta eli 1:3. Kattotuolien k/k-väli vaihtelee 725 mm:stä 970 mm:iin sen perusteella, kuinka iso kuormitus siihen kohdistuu. Suomessa ja Ruotsissa käytetään k/k-väliä 970 mm ja Norjassa k/k-väliä 725 mm. Kattotuolin periaatekuva on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Kattotuolin periaate (Älvsbyhus AB 2018f).

Yläpohjarakenne esitetään kuvassa 7.



Kuva 7. Yläpohjan rakenne (Älvsbyhus AB 2018f).

### 7.3 Väliseinät

#### 7.3.1 Kantavat väliseinät

Kantavat väliseinät toteutetaan rankorakenteisina. Runkotolppien k/k-väli on 300 mm. Tolppien lujuusluokka on C18. Runkotolppien koko on 45 x 68. Molemmiin puolin runkoa asennetaan 10 mm:n lastulevy, joka kiinnitetään liimaamalla ja naulaamalla. Aukkojen kohdalla kuormat siirretään alapuolisille rakenteille aukonylityspalkin välityksellä. Aukonylityspalkit on mitoitettava erikseen.

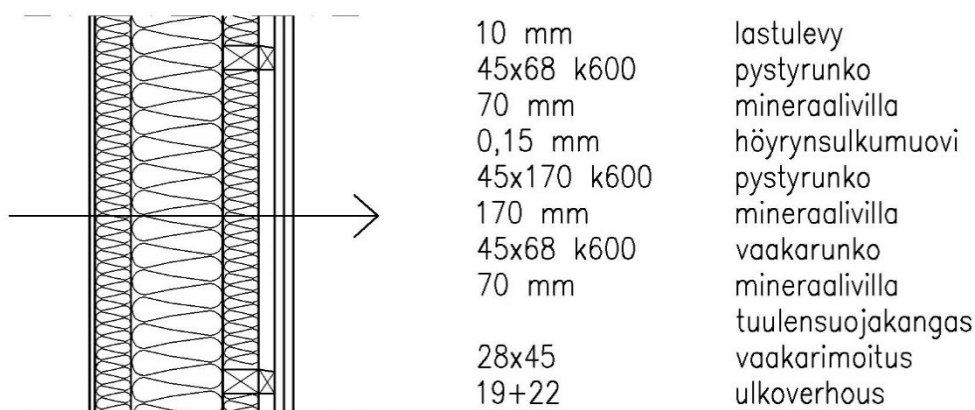
#### 7.3.2 Kevyet, ei-kantavat väliseinät

Kevyet väliseinät toteutetaan rankorakenteisina. Runkotolppien k/k-väli on korkeintaan 600 mm. Tolppien lujuusluokka on C18. Runkotolppien

koko on 45 x 68. Koska myös kevyet väliseinät toimivat tuulikuormaa vastaan jäykistävinä, naulojen tyyppi ja naulausväli on tarkistettava laskelmin.

#### 7.4 Ulkoseinät

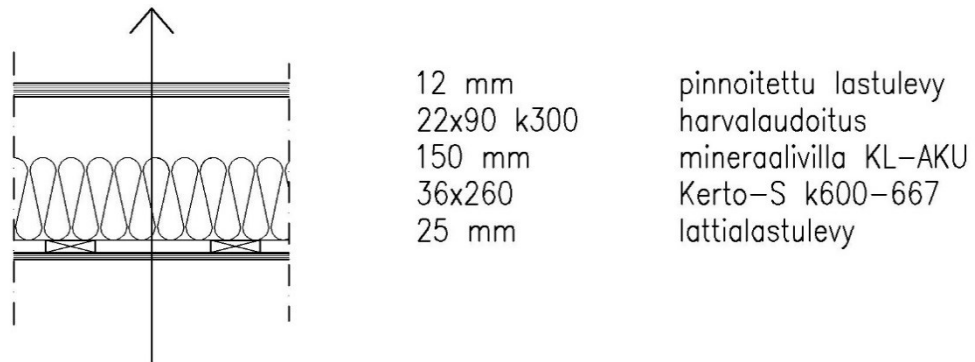
Ulkoseinä on ns. monikerrosrakenne. Uloimpana on ulkoverhous, joka asennetaan pystyyn. Ulkoverhous koostuu pohja- ja pintalaudasta, joiden kokonaispaksuus on 36 mm. Ulkoverhouksen takana on 28 mm:n tuuletusrimoitus. Uloimmassa lämmöneristyskerroksessa vaakarunko on lämpökäsiteltyä puuta. Kantava runko koostuu 170 mm:n pystytolpista. Höyrynsulku asennetaan ennen sisimmäistä, 68 mm:n vahvuista lämmöneristyskerrosta, jossa on pystyrunko. Sisäpintaan asennetaan 10 mm:n lastulevy. Ulkoseinän U-arvo on 0,14 W/m<sup>2</sup>K. Ulkoseinärakenne on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Ulkoseinän rakenne (Älvsbyhus AB 2018g).

#### 7.5 Välipohja

Välipohjaelementin leveys on 2850 mm ja pituus 7956 mm. Välipohjapalkkien k/k-väli vaihtelee, ja se on korkeintaan 667 mm. Välipohjaa kiittää kehäpalkki, johon välipohjapalkit kiinnitetään. Välipohjapalkin mitoitus tulee siis tehdä maksimikuormitusleveydelle 667 mm. Välipohja toteutetaan ns. ripustettuna välipohjana, eli se asennetaan kantavaan pystyrunkoon ruuvatun liimapuupalkin päälle. Ripustetun välipohjan etuna on, että alakerran kantavien ulkoseinien kuormitus vähenee, kun välipohjasta ei tule pystykuormia kantavalle pystyrungolle. Välipohjalta tulevat kuormat aiheuttavat kantaville runkotalpille momentin, joka otetaan huomioon alakerran kantavien runkotalppien mitoituksessa. Välipohjarakenne on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Välipohjan rakenne (Älvsbyhus AB 2018h).

## 8 RAKENTEIDEN MITOITUS

Rakenteet Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa rakennettaviin rakennukseen mitoitetaan Eurokoodin antamien normien ja määräysten mukaisesti. Eurokoodin mahdollistamat kansalliset valinnat tehdään maakohtaisesti. Kuormitusyhdistelmiin valittavat kuormat voivat olla ominaiskuormia tai ns. vähennettyjä, yhteisvaikutuksen huomioivia kuormia. Kuormien arvot yhdistetään osavarmuuskertoimilla. Kaikki mahdolliset kuormitustapaukset selvitetään, jotta löydetään se yhdistelmä, joka on ns. mitoittava eli joka rakenteelta vaadittavien ominaisuuksien kannalta epäedullisin.

Luvussa esitetään rakenteiden mitoituksen lähtötiedot, rakenteisiin kohdistuvat kuormat ja mitoituksen vaiheet. Varsinaiset laskelmat on sijoitettu liitteisiin. Rakenteet käydään läpi ylhäältä alaspäin, eli ensin esitetään toisen kerroksen rakenteet. Laskelmat esitetään erikseen kullekin maalle.

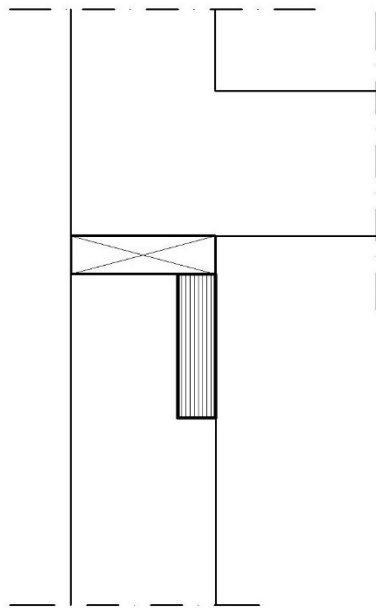
Rakennelaskelmien selostus esitetään liitteessä 1.

### 8.1 Kattoristikoiden kannatuspalkki

#### 8.1.1 Perustiedot

Yläpohjarakenteet kannatetaan palkilla, joka lovetaan runkotalppiin alla olevan detaljin mukaisesti (kuva 10). Palkin yläpuolelle asennetaan yläsidepuu, jonka tukipainekestävyys tarkastetaan erillisin laskelmin.





Kuva 10. Toisen kerroksen aukkopalkin sijainti ulkoseinärakenteessa (Älvsbyhus AB 2018i).

Rakennuksessa on kahden mittaisia kattotuolien kannatuspalkkeja. Pitkien sivujen nurkka-alueella palkin pituus on 2662 mm ja keskialueella 2850 mm.

Palkki mitoitetaan siten, että runkotolppien sijainnit ja palkkiin kohdistuvat kuormat ovat mahdollisimman epäedullisesti. Palkkiin kohdistuu kuormia yläpuolisilta rakenteilta eli vesikatosta ja yläpohjaelementistä liitteen 1 mukaisesti, katon lumikuorma liitteen 2 mukaisesti ja ullakotilan hyötykuorma liitteen 1 mukaisesti. Palkkiin kohdistuvat pistekuormat esitetään liitteessä 5.

Palkki mitoitetaan pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa. Palkki sijaitsee lämmöneristekerroksessa, joten käyttöluokka on 1.

#### 8.1.2 Kattoristikoiden kannatuspalkin mitoituksen tulokset

Mitoituksessa käytiin läpi eri mitoitusilanteet, joissa palkin pituus, tukien sijainnit ja kuormien sijainnit vaihtelivat. Suomessa ja Ruotsissa kattoristikot osuvat siten, että leikkaus tulee mitoittavaksi. Mitoituksessa on huomioitu leikkausvoiman pienennysmahdollisuus tukien läheisyydessä luvun 6.5.5 mukaisesti. Norjassa taas mitoittavaksi tekijäksi osoittautui palkin leimapainekestävyys. Tällöin runkotolppien sijoittelua ja leveyttä muuttamalla palkkiin kohdistuvaa syysuuntaan kohtisuoraan tulevaa puristusta saatiin pienennettyä.

Kattoristikoiden kannatuspalkiksi saatiin Kerto-S 63x220. Kattotuolien alle asennettavan yläsidepuun materiaaliksi saatiin C24 2x45x170 lappeelleen

asennettuna. Ruotsissa tukipintaa täytyy lisätä esimerkiksi kulmalevyillä. (Älvsbyhus AB 2018j.)

## 8.2 Toisen kerroksen ulkoseinän runkotolppa

### 8.2.1 Perustiedot

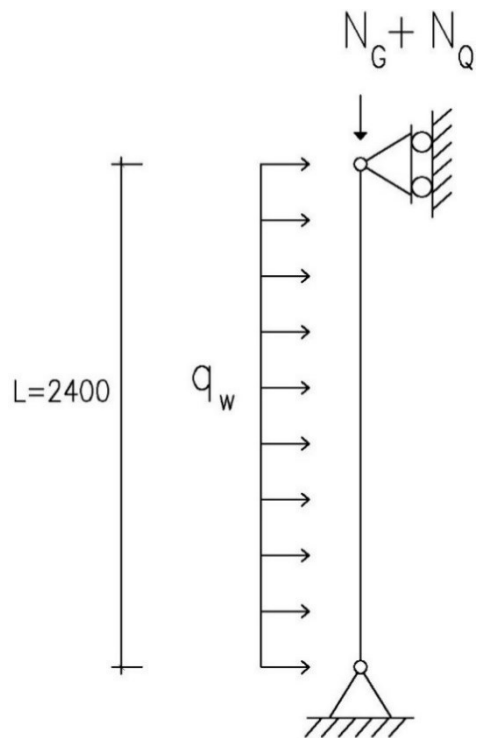
Runkotolppa mitoitetaan puristetun ja taivutetun sauvan mitoitusperiaatteiden mukaisesti (luku 6.6.3). Siihen kohdistuu pystykuormia yläpohjarakenteista, kattoristikoiden kannatuspalkin omapainosta, katon lumikuormasta sekä Ruotsissa ja Norjassa ullakon hyötykuormasta. Vaakakuormana siihen kohdistuu tuulikuorma liitteen 4 mukaisesti.

Koska yläpuolisilta rakenneosilta siirtyvien kuormien ajatellaan siirtyvän runkotolpille kattotuolien kannatuspalkin kautta, laskentamallissa tulee huomioida kuorman epäkeskisyys, jonka suuruus määräytyy kattotuolien kannatuspalkin leveyden ja runkotolpan leveyden perusteella. Koska kattotuolien kannatuspalkin leveys on 63 mm ja runkotolpan syvyys 170 mm, epäkeskisyydeksi saadaan:  $(170 \text{ mm} - 63 \text{ mm})/2 = 53,5 \text{ mm}$ .

Toisen kerroksen runkotolppien sijoittelussa huomioidaan kattotuolien kannatuspalkin leimapainekestävyys, kattotuolien sijainnit sekä tilaelementtinä toimitettavan alakerran runkotolppien sijainnit. Molempien kerrosten runkotolpat pyritään sijoittamaan täysin päällekkäin, jotta alakerran ulkoseinän kantavan palkin mitoituksessa leikkaus ei tule mitoittavaksi tekijäksi.

Tuulen nettopaine kertoimet  $c_{p,net}$  ovat suurimmat rakennuksen nurkka-alueella (Liite 3), kun tuuli puhaltaa rakennuksen päädyn. Ensiolettamuksenä on, että mitoittava tilanne runkotolpalle on, kun tolppa sijaitsee nurkka-alueella ja tuuli puhaltaa rakennuksen pitkän sivun suuntaisesti. Tällöin tuuli aiheuttaa alipainetta pitkän sivun runkotolppiin, ja tämä alipaine on suurimmillaan tuulensuunnan puoleisella nurkka-alueella. Mitoituksessa tulee kuitenkin tarkastella tilannetta, jossa tuuli puhaltaa rakennuksen lyhyemmän sivun suuntaisesti ja aiheuttaa ylipainetta rakennuksen pitkälle sivulle. Tällöin kuorman epäkeskisyyden aiheuttama momentti sekä tuulen aiheuttama momentti eivät kumoa toisiaan.

Tolppa oletetaan nivelellisesti tuetuksi, ja sen heikompi suunta on tuettu nurjahdusta vastaan ulkopuolelta vaakakoolauksella ja sisäpuolelta levyrakenteella. Runkotolpan laskentamalli esitetään kuvassa 11.



Kuva 11. Runkotolpan laskentamalli.

Runkotolppa sijaitsee lämmöneristekerroksessa, joten käyttöluokka on 1. Tolppa mitoitetaan pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aikaluokassa.

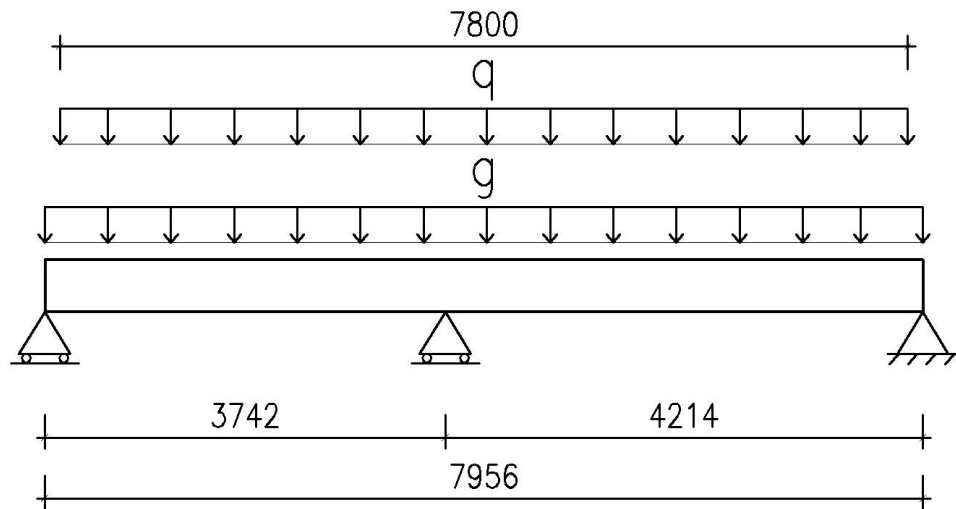
### 8.2.2 Toisen kerroksen runkotolpan mitoituksen tulokset

Mitoituksen tuloksena toisen kerroksen runkotolpan mitoiksi saatiin 45x170 ja lujuusluokaksi C18. Alasidepuuksi saatiin Suomessa C18 2x45x170 lappeelleen asennettuna sekä Ruotsissa ja Norjassa C24 2x45x170 lappeelleen asennettuna. (Älvsbyhus AB 2018j.)

## 8.3 Välipohja

### 8.3.1 Perustiedot

Välipohja tukeutuu ulkoseinien kantavaan runkoon ruuvattuun liimapuu-palkkiin ja kantavaan väliseinään. Välipohjapalkiston päälle tuleva 25 mm:n lastulevy liimataan kiinni palkkeihin rakenneliimauksella, ja näin saatava T-poikkileikkaus pienentää välipohjan värähtelyä. Välipohjapalkin pituusleikkaus esitetään kuvassa 12.



Kuva 12. Välipohjapalkin laskentamalli.

Välipohjalle kohdistuu kuormia sen omapainosta ja hyötykuormasta. Hyötykuorman ominaisarvo on Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa luokan A rakennuksilla  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . Välipohjan omapaino on liitteen 4 mukaisesti  $0,4 \text{ kN/m}^2$ . Lisäksi omapainoon lasketaan kiinteistä väliseinistä aiheutuva neliökuorma  $0,3 \text{ kN/m}^2$ . Välipohjapalkin k/k-väli on suurimmillaan  $667 \text{ mm}$ .

Välipohjapalkki sijaitsee lämpimässä tilassa, joten käyttöluokka on 1. Palkki mitoitetaan pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

### 8.3.2 Välipohjapalkin mitoituksen tulokset

Mitoituksen tuloksena välipohjapalkin mitoiksi saatiin  $36 \times 260$  ja materiaaliksi Kerto-S. Suomessa välipohjan molempiin jänneväleihin asennetaan yksi poikittaisjäykistelinja. (Älvsbyhus AB 2018j.)

## 8.4 Välipohjan kannatuspalkki

### 8.4.1 Perustiedot

Välipohja tukeutuu reunoiltaan ensimmäisen kerroksen kantavaan runkoon kiinnitettyyn liimapuupalkkiin. Tähän kannatinpalkkiin kohdistuu siis pistekuormia välipohjapalkkien kohdalla. Kuormat aiheutuvat välipohjan ja kiinteiden väliseinien omapainosta ja hyötykuormasta. Liimapuupalkki kiinnitetään runkotalppiin yksileikkeisillä puuruuveilla, jotka kiinnitetään ensimmäisen kerroksen runkotalppiin.

Koska kannatinpalkki kiinnitetään kantaviin runkotalppiin, tulee myös kiinnitysruuvit mitoittaa. Kannatinpalkin mitoituksessa tulee huomioida, että palkin korkeus riittää ruuvien vähimmäisetäisyyksien täyttymiseksi. Lisäksi runkotalpan tarvittava leveys tulee tarkistaa, jotta vähimmäisvaatimukset

reunaetäisyyksistä täyttyvät. Laskennassa voidaan huomioida se, että mikäli palkin tuki koostuu useasta vierekkäisestä runkotolpasta, voidaan ruuveja kiinnittää myös rinnakkain.

Palkki sijaitsee lämmöneristyskerroksessa, joten käyttöluokka on 1. Palkki mitoitetaan pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

#### 8.4.2 Välipohjan kannatinpalkin mitoituksen tulokset

Palkin tarvittavaksi mitaksi saatiin 66x180, ja materiaali on liimapuu GL30c. Palkin korkeus määräytyi kiinnitysruuvien määrän sekä reuna- ja keskiöetäisyyksien vähimmäisarvojen perusteella. Leveys valittiin siten, että se mahtuu sisäpuoliseen pystyrunkokerrokseen. Ruuviksi valittiin puuruuvi 6,0 x 140. Suurimmaksi ruuvimääräksi saatiin yhteen runkotolppaan 4 ruuvia. Näin ollen palkin korkeus 180 mm riittää ruuvien reuna- ja väljetäisyys- ehtojen täyttymiseksi. (Älvsbyhus AB 2018j.)

### 8.5 Ensimmäisen kerroksen ulkoseinänpalkki

#### 8.5.1 Perustiedot

Ensimmäisen kerroksen kantavaan runkoon lovetaan kannatuspalkki, jonka tehtävänä on välittää kuormat yläpuolisilta rakenteilta ensimmäisen kerroksen kantaville runkotolpille. Palkki toimii samalla aukonylityspalkkina. Yläpuolisilta rakenteilta tulevat pystykuormat aiheutuvat yläpohjarakenteista ja katon lumikuormasta sekä toisen kerroksen ulkoseinärakenteen omapainosta. Kuormat siirtyvät ensimmäisen kerroksen ulkoseinänpalkille pistekuormina toisen kerroksen runkotolppien kohdilla.

Palkki tulee mitoittaa kattoristikoiden kannatuspalkin tapaan pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa. Palkki sijaitsee lämmöneristekerroksessa, joten käyttöluokka on 1.

#### 8.5.2 Ensimmäisen kerroksen ulkoseinänpalkin mitoituksen tulokset

Palkki mitoitettiin siten, että runkotolppien sijainnit ja palkkiin kohdistuvat kuormat ovat mahdollisimman epäedulliset. Palkiksi valittiin Kerto-S 63x220. (Älvsbyhus AB 2018j.)

## 8.6 Ensimmäisen kerroksen runkotolppa

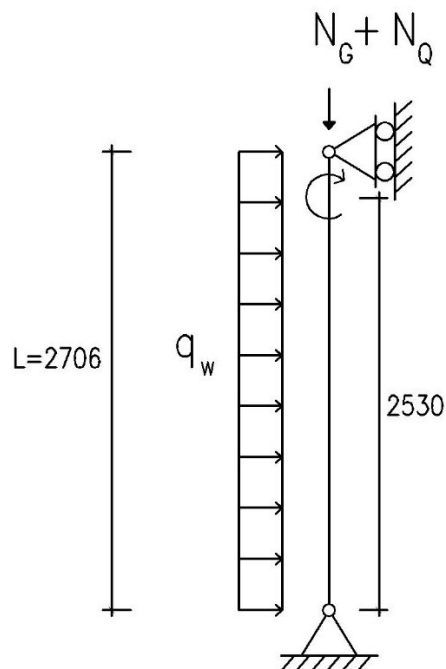
### 8.6.1 Perustiedot

Ensimmäisen kerroksen runkotolppa mitoitetetaan puristetun ja taivutetun sauvan mitoitusperiaatteiden mukaisesti (Luku 6.6.3). Runkotolppaan kohdistuu pystykuormia yläpuolisista rakenteista. Lisäksi välipohjaelementistä tulee kuormia omapainosta ja hyötykuormasta, jotka aiheuttavat momenttia runkotolppaan. Pystykuormat siirtyvät runkotolpille tolppien yläreunaan lovetun ulkoseinänpalkin välityksellä.

Runkotolpat sijoitetaan tilaelementtien mittojen mukaisesti. Tilaelementtien liitoskohdan molemmiin puoliin sijoitetaan runkotolppa. Lisäksi sijoitteluun vaikuttaa alakerran suunniteltu pohjaratkaisu. Lisäksi kantavan palkin leimapainekestävyys vaikuttaa runkotolppien k/k-väleihin ja vierekkäisten runkotolppien määrään.

Mitoitus tehdään eri tuulensuunnilla eli eri tuulen nettopaine kertoimilla toisen kerroksen runkotolpan mitoituksen yhteydessä kuvatulla tavalla.

Tolppa oletetaan nivelellisesti tuetuksi, ja sen heikompi suunta on tuettu nurjahdusta vastaan ulkopuolelta vaakakoolauksella ja sisäpuolelta levyrakenteella. Runkotolppa sijaitsee lämmöneristekerroksessa, joten käyttöluokka on 1. Runkotolpan laskentamalli esitetään kuvassa 13.



Kuva 13. Runkotolpan laskentamalli.

Runkotolpan yläreunaan on lovettu palkki, joten yläpuolisilta rakenteilta tuleva pystykuorma vaikuttaa tolpan z-suuntaan nähden epäkeskeisesti. Epäkeskeisyyden suuruus on  $(170 \text{ mm} - 63 \text{ mm})/2 = 53,5 \text{ mm}$ .

Runkotolppa tulee mitoittaa pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aika-luokassa. Käyttöluokka on 1.

#### 8.6.2 Ensimmäisen kerroksen runkotolpan mitoituksen tulokset

Runkotolpan materiaaliksi saatiin C18 45 x 170 (Älvsbyhus AB 2018j).

## 9 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää, voiko Älvsbyhus-konsernin nykyisin käyttämillä rakenteilla toteuttaa kaksikerroksinen pientalo tilaelementtiratkaisuna. Jo projektin alkuvaiheessa oli selvää, ettei toisen kerroksen toteuttaminen tilaelementtinä ole varteenotettava vaihtoehto. Tähän vaikuttivat esimerkiksi pohjaratkaisun suunnittelun vaikeutuminen kerrosten välisen etäisyyden kasvamisen takia ja kaksinkertaisen välipohjarakenteen kalleus. Todettiin, että järkevintä on toteuttaa toinen kerros suurelementteinä. Lisäksi välipohjan toteuttaminen ns. ripustettuna rakenteena pienensi alkuperäisen kantavaan runkoon kohdistuvia pystykuormia.

Projektin alussa selvitettiin, kuinka laajalla alueella kaksikerroksista taloa tulisi voida myydä, jotta sen suunnittelu olisi järkevää. Norjan osalta todettiin, että rakenteiden tulisi kestää vähintään maan lumikuorman arvo  $4,5 \text{ kN/m}^2$ , jotta myyntialue olisi riittävän laaja. Laskelmilla pystyttiin osoittamaan, että nykyiset rakenteet ovat riittävät tälle lumikuormalle. Suomessa maanpinnan lumikuormarajaksi saatiin  $3,0 \text{ kN/m}^2$ , mikä kattaa suurimman osan maasta. Ruotsin osalta rajaksi saatiin  $3,5 \text{ kN/m}^2$ . Kaksikerrokset pientalot ovat pääasiassa taajama-alueiden ja isompien kuntien taloja, joten käytännössä merkittävä osa Ruotsiin toimitettavista taloista toimitetaan alueille, joissa maan lumikuorma on reilusti alle  $3,5 \text{ kN/m}^2$ :n.

Projekti vaati perusteellista perehtymistä Suomen, Ruotsin ja Norjan rakentamista ohjaaviin määräyksiin ja eurokoodien kansallisiin liitteisiin. Eurokoodien alkuperäisenä tarkoituksena oli luoda ylikansallinen normisto, joka harmonisoi teknisiä määräyksiä ja poistaisi kaupan esteitä. Perehtymisen perusteella voidaan todeta, että kansallisille valinnoille on annettu yllättävän paljon tilaa.

Kansallisten liitteiden tarkoituksena on huomioida paikalliset olosuhteet. Esimerkiksi lumikuorman ja tuulikuorman määrittelyssä tämä on perusteltua. Perehtymisen perusteella voidaan todeta, että Norjassa on huomattavasti suuremmat tuulikuormat kuin Suomessa ja Ruotsissa. Kansallisissa

liitteissä on kuitenkin tehty myös valintoja, jotka poikkeavat merkittävästi eurokoodin suositusarvoista ja joille ei välttämättä löydy perustelua paikallisista olosuhteista. Esimerkkinä tästä voidaan pitää esimerkiksi kuormitusyhdistelmiä ja niiden eri kertoimia. Suomessa ja Norjassa pientalojen luotettavuusluokan mukainen kerroin on 1,0, kun taas Ruotsissa pientalojen kuormia murtorajatilatarkastelussa voidaan pienentää kertoimella 0,91.

Suomessa välipohjan värähtelymitoitus poikkeaa eurokoodin suosituksista sekä pistekuormatarkastelun että taajuusvaatimuksen osalta. Käytännössä tämä näkyi mitoituksessa siinä, että Suomessa mitoittavaksi tekijäksi ei tullut välipohjapalkin taivutuskestävyys vaan hetkellinen taipuma pistekuorman vaikutuksesta. Vaikka välipohjan jänneväli ja siihen kohdistuvat kuormat samat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa, Suomeen toimitettaviin taloihin tulee asentaa yksi poikittaisjäykistelinja per jänneväli, kun taas Ruotsissa ja Norjassa vaatimukset täyttyvät samalla lattiarakenteella ilman poikittaisjäykistelinjaa.

Projektista jouduttiin rajaamaan pois useita osatekijöitä, jotta se pysyisi riittävän suppeana opinnäytetyöksi. Tiukan aikataulun vuoksi esimerkiksi alapohja- ja perustusrakenteiden mitoitus sekä rakennuksen jäykistys tuuli kuormaa vastaan joudutaan valitettavasti tekemään opinnäytetyöprojektin ulkopuolella.

Projekti oli antoisa ja opettava. Teoriaan perehtyminen antoi hyvän kokonais kuvan keskeisistä puurakenteiden mitoittamiseen liittyvistä asioista Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa.



## LÄHTEET

Boverket (2016). Boverkets konstruktionsregler, EKS 10. Haettu 26.2.2018 osoitteesta <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/eks---bfs-201110/>

Boverket (2017a). Snölast på sadeltak. Haettu 26.2.2018 osoitteesta <http://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-konstruktionsregler/laster/snolast-pa-sadeltak/>

Boverket (2017b). Konsekvensutredning EKS 10. Haettu 13.3.2018 osoitteesta <https://www.boverket.se/.../konsekvensutredning-eks-10.pdf>

Boverket (2018a). Rakentamisen säännökset. Haettu 13.3.2018 osoitteesta <http://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/om-boverkets-konstruktionsregler-eks/>

Boverket (2018b). Rakentamista ja asumista koskevat lait, määräyskoelma. Haettu 26.2.2018 osoitteesta <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>

Boverket (2018c). Rakentamista ja asumista koskevat lait. Haettu 26.2.2018 osoitteesta <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/lagar-for-planering-byggande-och-boende/plan--och-bygglag-2010900/>

Direktoratet for byggkvalitet (2018). Byggteknisk forskrift (TEK17). Haettu 13.3.2018 osoitteesta <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>

Lovdata (2018). Lov om planlegging og byggsaksbehandling (plan- og bygningsloven). Haettu 13.3.2018 osoitteesta <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>.

MetsäWood (2018). Finnwood-ohjelmiston esittely. Haettu 12.3.2018 osoitteesta <https://www.metsawood.com/fi/tyokalut/Finnwood/>

Norsk Treteknisk Institut (2018). Om oss. Haettu 13.3.2018 osoitteesta <http://www.treteknisk.no/om-oss>

Regjeringen.no (2018). Direktoratet for byggkvalitet. Haettu 13.3.2018 osoitteesta <https://www.regjeringen.no/no/dep/kmd/org/etater-og-virk-somheter-under-kommunal--og-moderniseringsdepartementet/under-liggende-etater/direktoratet-for-byggkvalitet-/id85812/>

Porteous, J. & Kermani, A. (2013). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Cichester, West Sussex, UK:Wiley-Blackwell.

Puuinfo Oy (2018). Esittely. Haettu 12.3.2018 osoitteesta <https://www.puuinfo.fi/puuinfo-oy>

RIL 201-1-2017. *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. Helsinki\_ Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 205-1-2017. *Puurakenteiden suunnitteluohje*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Ruotsin hallitus (2018). Viranomaistahot. Haettu osoitteesta <http://www.regeringen.se/myndigheter-med-flera/boverket/>

SFS-EN 1990 + A1 + AC (2006). *Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet*. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SINTEF Bygghorsk (2018). Om Bygghorskserien. Haettu 13.3.2018 osoitteesta [https://byggforsk.no/side/198/hva\\_er\\_byggforskserien](https://byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien)

Svenskt Trä (2018a). Om oss. Haettu 13.3.2018 osoitteesta <https://www.svenskttra.se/om-oss/>

Svenskt Trä (2018b). Publikationer. Haettu 13.3.2018 osoitteesta [https://www.svenskttra.se/publikationer\\_start/publikationer/](https://www.svenskttra.se/publikationer_start/publikationer/)

Ympäristöministeriö (2018a). Rakentamisen ohjaus. Haettu 28.3.2018 osoitteesta [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus)

Ympäristöministeriö (2018b). Rakentamismääräyskokoelma. Haettu 28.3.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

Älvsbyhus AB (2018a). Historia. Haettu 26.2.2018 osoitteesta <https://www.alvsbyhus.se/sv/om-alvsbyhus/historia/>

Älvsbyhus AB (2018b). Älvsbyhus-konserni. Haettu 26.2.2018 osoitteesta <https://www.alvsbyhus.se/sv/om-alvsbyhus/alvsbyhuskoncernen/>

Älvsbyhus AB (2018c). Kohderakennuksen alustava pohjapiirustus, alakerta. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018d). Kohderakennuksen alustava pohjapiirustus, yläkerta. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018e). Vesikaton rakenne. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018f). Kattoristikon rakenne. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018g). Ulkoseinän rakenne. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018h). Välipohjan rakenne. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018i). Kattotuolien kannatinpalkin sijainti rakenteessa. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

Älvsbyhus AB (2018j). Kaksikerroksisen talon rakennelaskelmat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Saatavissa Älvsbyhus AB:n tietojärjestelmästä.

## RAKENNELASKELMIEN SELOSTUS

<b>1. Perustiedot</b>	
<b>Kohteen nimi</b>	Puurakenteinen asuinrakennus
<b>Pääasiallinen käyttötarkoitus</b>	Asuinrakennus
<b>Rakenteiden vaativuusluokka</b>	B
<b>Käyttöluokka</b>	1
<b>Seuraamusluokka</b>	CC2
<b>Paloluokka</b>	P3
<b>Pääasiallinen rakennusmateriaali</b>	Puu
<b>Pääasiallinen rakennustapa</b>	Tilaelementti
<b>Kerrosluku</b>	2
<b>Kokonaiskorkeus</b>	8,0 m
<b>Bruttopinta-ala yhteensä</b>	199 m <sup>2</sup>
<b>2. Rakenteellinen järjestelmä</b>	
<b>Pääasialliset runkorakenteet</b>	
<b>Kantavat seinät</b>	Rankaseinä (sahatavara)
<b>Pääkannattimet</b>	Sahatavara- ja LVL-palkki sekä NR-ristikko
<b>Ulkoseinät</b>	
<b>1. kerros</b>	Tehdasvalmisteiset suurelementit (tilaelementti), puuranka, lämpöeristetty
<b>2. kerros</b>	Tehdasvalmisteiset elementit, puuranka, lämpöeristetty
<b>Väliseinät</b>	
<b>1. kerros</b>	Tehtaalla rakennettu puurankaseinä (tilaelementti)
<b>2. kerros</b>	Paikalla rakennettu puurankaseinä
<b>Välipohja</b>	Tehtaalla rakennettu välipohjaelementti
<b>Yläpohja</b>	Tehtaalla rakennettu yläpohjaelementti
<b>Rakennusrungon jäykistys</b>	
<b>1. ja 2. kerros</b>	Rungon poikki- ja pituussuuntainen jäykistys levyjäykisteillä, jotka sijaitsevat ulkoseinien sisäpinnassa ja väliseinissä. NR-ristikkoyläpohjan jäykistys pystysuuntaisilla vinolautalinjoilla.

3. Normit ja kuormitukset			
Määräykset ja ohjeet			
Puurakenteet	Eurocode 5		
Kuormitukset	SUOMI	RUOTSI	NORJA
Yläpohjarakenteet	0,50 kN/m <sup>2</sup>	0,50 kN/m <sup>2</sup>	0,65 kN/m <sup>2</sup>
Räystäät	0,30 kN/m <sup>2</sup>	0,30 kN/m <sup>2</sup>	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Välipohja	0,40 kN/m <sup>2</sup>	0,40 kN/m <sup>2</sup>	0,40 kN/m <sup>2</sup>
Kevyet väliseinät väli- ja alapohjalla	0,30 kN/m <sup>2</sup>	0,30 kN/m <sup>2</sup>	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Lumikuorma maan pinnalla	3,00 kN/m <sup>2</sup>	3,50 kN/m <sup>2</sup>	4,50 kN/m <sup>2</sup>
Hyötykuorma	2,00 kN/m <sup>2</sup>	2,00 kN/m <sup>2</sup>	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Hyötykuorma, ullakotilat	-	0,50 kN/m <sup>2</sup>	1,00 kN/m <sup>2</sup>
Tuulikuorma (nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokassa I, kun h=8,0 m	0,73 kN/m <sup>2</sup>	1,03 kN/m <sup>2</sup>	1,50 kN/m <sup>2</sup>
4. Materiaalien lujuusluokat yleensä			
Palkit	Kerto-S, sahatavara C14-C24		
Kantavien seinien rungot	Sahatavara C18		
Jäykistävä levytys välipohjassa	Lattialastulevy, paksuus 25 mm		
Jäykistävä levytys ulkoseinissä	Lastulevy, paksuus 10 mm		
Jäykistävä levytys väliseinissä	Lastulevy, paksuus 10 mm		
5. Laskentamenetelmät			
Ristikkolaskelmat	Ristikkotoimittajan käyttämä ohjelmisto		
Muut laskelmat	SUOMI	RUOTSI	NORJA
	Käsinlaskenta Finnwood	Käsinlaskenta Statcon	Käsinlaskenta Statcon

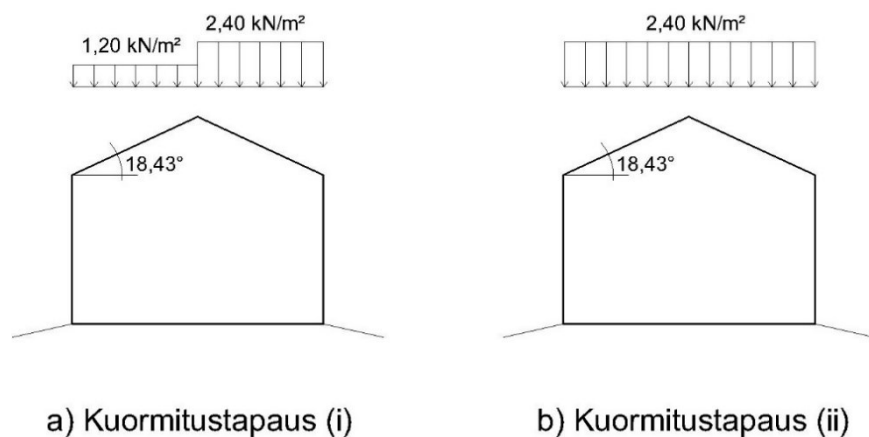
## KATON LUMIKUORMA

## Katon lumikuorma Suomessa

Rakennuksen ominaislumikuormaksi maassa on määritetty  $3,0 \text{ kN/m}^2$ . Katon kaltevuus on 1:3 eli  $18,43$  astetta. Näin taulukon 3 mukaisesti katon muotokertoimeksi  $\mu_1$  saadaan 0,8. Ominaislumikuorma katolla lasketaan kaavalla 2:

$$q_k = \mu_1 * s_k = 0,8 * 3,00 \text{ kN/m}^2 = 2,40 \text{ kN/m}^2.$$

Rakennuksen katto on muodoltaan symmetrinen harjakatto, joten tarkasteltavia kuormitustapauksia on kaksi. Ne esitetään kuvassa 14.



Kuva 14. Katon lumikuorman kuormituskaaviot Suomessa (SFS-EN 1991-1-3 2015, 34).

## Katon lumikuorma Ruotsissa

Rakennuksen ominaislumikuormaksi maassa on määritetty  $3,0 \text{ kN/m}^2$ . Katon kaltevuus on 1:3 eli  $18,43$  astetta. Näin taulukon 3 mukaisesti katon muotokertoimeksi  $\mu_1$  saadaan 0,8. Muotokerroin  $\mu_4$  lasketaan taulukon 5 mukaisesti:

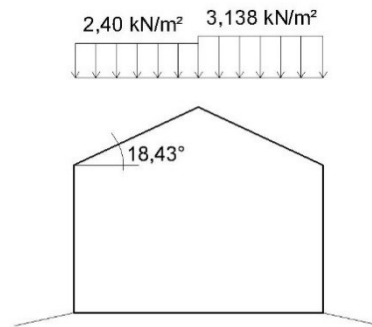
$$\mu_4 = 0,8 + \frac{0,3}{22,5} \alpha = 0,8 + \frac{0,3}{22,5} 18,43 = 1,046.$$

Ominaislumikuormat katolla lasketaan kaavalla 2:

$$q_{\text{lumi,lape1}} = \mu_1 s_k = 0,8 * 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\text{lumi,lape2}} = \mu_4 s_k = 1,046 * 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3,138 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Rakennuksen katto on muodoltaan symmetrinen harjakatto, joten tarkasteltavia kuormitustapauksia on yksi. Se esitetään kuvassa 15.



a) Kuormitustapaus (i)

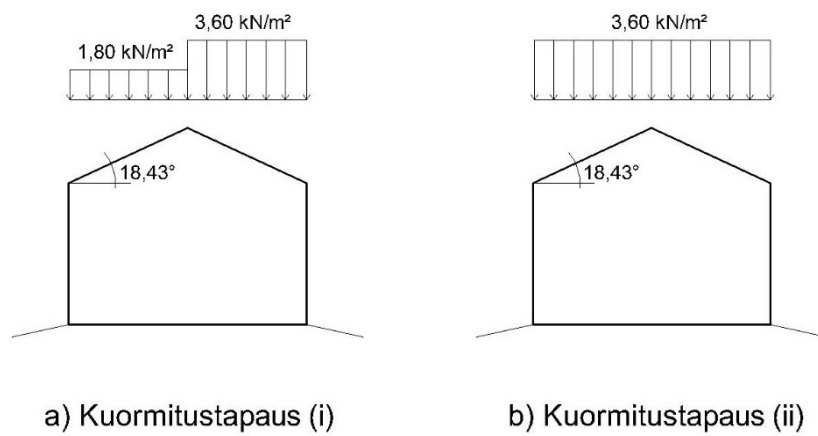
Kuva 15. Katon lumikuorman kuormituskaavio Ruotsissa (Boverket 2016, 43).

### Katon lumikuorma Norjassa

Rakennuksen ominaislumikuormaksi maassa on määritetty  $4,5 \text{ kN/m}^2$ . Katon kaltevuus on 1:3 eli 18,43 astetta. Näin taulukon 3 mukaisesti katon muotokertoimeksi  $\mu_1$  saadaan 0,8. Ominaislumikuorma katolla lasketaan kaavalla 2:

$$q_k = \mu_1 * s_k = 0,8 * 4,50 \text{ kN/m}^2 = 3,60 \text{ kN/m}^2.$$

Rakennuksen katto on muodoltaan symmetrinen harjakatto, joten tarkasteltavia kuormitustapauksia on kaksi. Ne esitetään kuvassa 16.



Kuva 16. Katon lumikuorman kuormituskaaviot Norjassa (SFS-EN 1991-1-3 2015, 34).



## RUNKOTOLPPAAN KOHDISTUVA PAIKALLINEN TUULIKUORMA

Määritetään ulkoseinän runkotolppaan kohdistuva suurin tuulikuorma. Runkotolppa on kooltaan 45x170 ja materiaaliltaan C18-luokan sahatavaraa. Runkotolpan k-jako on 600 mm.

Tuulen nopeuspaineet ovat liitteessä 1 määritellyn mukaisesti seuraavat

SUOMI	$q_p=0,73 \text{ kN/m}^2$
RUOTSI	$q_p=1,03 \text{ kN/m}^2$
NORJA	$q_p=1,50 \text{ kN/m}^2$

### Tuuli rakennuksen lyhyemmän sivun suuntaisesti (sivuseinää vastaan)

Rakennuksen mitat:

Päätyseinän pituus	d	8,56 m
Sivuseinän pituus	b	11,63 m
Rakennuksen korkeus	h	8,00 m

Määritetään paikallinen tuulikuorma runkotolpalle kaavalla:

$$q_{w,k} = (c_{pe} + c_{pi}) * q_p.$$

Kun tuuli puhaltaa rakennuksen sivuseinää vastaan, kuormitusalueen vyöhyke on kuvan 2 mukaisesti D. Määritetään tuulen ulkopuolisen paineen kertoimet taulukon 7.1 (SFS-EN 1991-1-4, s. 62) ja kuvan 2 perusteella.

Rakennuksen sivusuhte tuulen kohdistuessa sivuseinää vastaan on

$$\frac{h}{d} = \frac{8,00 \text{ m}}{8,56 \text{ m}} = 0,935.$$

Rakennuksen sivusuhteen perusteella interpoloidaan ulkopuolisen paineen kerroin  $c_{pe,10}$ :

$$c_{pe,10} = +0,8 - \frac{1 - 0,935}{1 - 0,25} * (+0,8 - (+0,7)) = +0,81.$$

Tuulen vaikutusalue lasketaan kaavalla

$$A = l_{tolppa} * k,$$

jossa  $l_{tolppa}$  on runkotolpan pituus ja k on kuormitusalueen leveys.

Näin tuulen vaikutusalueeksi saadaan

$$A = 2,4 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 1,44 \text{ m}^2.$$

Koska tuulen vaikutusalueen pinta-ala on alle 10 m<sup>2</sup> mutta yli 1 m<sup>2</sup>, tuulen ulkopuolisen paineen kerroin saadaan interpoloimalla logaritmisesti kaavalla 7:

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A.$$

Sijoittamalla edellä saadut arvot yllä olevaan kaavaan saadaan ulkopuolisen paineen kertoimeksi kuormitusalueella A

$$c_{pe} = +1,0 - (+1,0 - (+0,81)) \log_{10}(1,44) = +0,97.$$

Sisäpuolisen paineen kerroin määritetään siten, että tuulen nettopaine kerroin on mahdollisimman epäedullinen. Tässä tapauksessa epäedullisin nettopaine kerroin saadaan valitsemalla luvun 4.5.4 mukaisesti tuulen sisäpuolisen paineen kertoimeksi  $c_{pe} = -0,3$ . Näin tuulen nettopainekertoimeksi saadaan

$$c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi} = +0,97 - (-0,3) = +1,27.$$

### **Tuulikuorma runkotolpalle, kun tuulee pitkän sivun suuntaisesti (päätyseinää vastaan)**

Rakennuksen mitat:

Päätyseinän pituus	b	8,56 m
Sivuseinän pituus	d	11,63 m
Rakennuksen korkeus	h	8,00 m

Määritetään paikallinen tuulikuorma runkotolpalle kaavalla

$$q_{w,k} = (c_{pe} + c_{pi}) * q_p.$$

Kun tuuli puhalttaa rakennuksen sivuseinää vastaan, kuormitusalueen vyöhyke on kuvan 2 mukaisesti A. Määritetään tuulen ulkopuolisen paineen kertoimet taulukon 7.1 (SFS-EN 1991-1-4, s. 62) ja luvun 4.5.4 kuvan 2 perusteella.

Rakennuksen sivusuhte tuulen kohdistuessa sivuseinää vastaan on

$$\frac{h}{b} = \frac{8,00 \text{ m}}{11,63 \text{ m}} = 0,688.$$

Vyöhykkeen A mukaiset tuulen ulkopuolisen paineen kertoimet  $c_{pe,10}$  ja  $c_{pe,1}$  ovat samat sivusuhteesta riippumatta. Taulukosta 7.1 (SFS-EN 1991-1-4, s. 62) saadaan ulkopuolisen paineen kertoimiksi

$$C_{pe,10} = -1,2$$

$$C_{pe,1} = -1,4.$$

Tuulen vaikutusalue lasketaan kaavalla

$$A = l_{\text{tolppa}} * k,$$

jossa  $l_{\text{tolppa}}$  on runkotolpan pituus ja  $k$  on kuormitusalueen leveys.

Näin tuulen vaikutusalueeksi saadaan

$$A = 2,4 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 1,44 \text{ m}^2.$$

Koska tuulen vaikutusalueen pinta-ala on alle  $10 \text{ m}^2$  mutta yli  $1 \text{ m}^2$ , tuulen ulkopuolisen paineen kerroin saadaan interpoloimalla logaritmisesti kaavalla 7:

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A.$$

Sijoittamalla edellä saadut arvot yllä olevaan kaavaan saadaan ulkopuolisen paineen kertoimeksi kuormitusalueella  $A$

$$c_{pe} = -1,4 - (-1,4 - (-1,2)) \log_{10}(1,44) = -1,37.$$

Sisäpuolisen paineen kerroin määritetään siten, että tuulen nettopaine kerroin on mahdollisimman epäedullinen. Tässä tapauksessa epäedullisin nettopaine kerroin saadaan valitsemalla luvun 4.5.4 mukaisesti tuulen sisäpuolisen paineen kertoimeksi  $c_{pe} = +0,2$ . Näin tuulen nettopainekertoimeksi saadaan

$$c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi} = -1,37 - (+0,2) = -1,57.$$

Näin tuulen mitoittavaksi nettopainekertoimeksi saadaan siis  $-1,57$  tilanteessa, jossa tuuli kohdistuu rakennuksen päätyseinää vastaan eli rakennuksen pitkän sivun suuntaisesti.

Runkotolppaan kohdistuva tuulikuorma lasketaan kaavalla  $q_{w,k} = c_{p,net} * q_p$ . Maakohdattaiset tuulikuorman arvot ovat siis:

Suomi:	$q_{w,k} = -1,57 * 0,73 \text{ kN/m}^2 = -1,15 \text{ kN/m}^2$
Ruotsi:	$q_{w,k} = -1,57 * 1,03 \text{ kN/m}^2 = -1,62 \text{ kN/m}^2$
Norja:	$q_{w,k} = -1,57 * 1,50 \text{ kN/m}^2 = -2,36 \text{ kN/m}^2$

## RAKENTEIDEN OMAPAINOT

MATERIAALIEN TILAVUUSPAINOT	
Materiaali	Tilavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]
Lastulevy	6,5
Mineraalivilla KL37	0,15
Puhallusvilla	0,25
Puu	5
Kattopelti	112

VESIKATTO			
k960 SUOMI JA RUOTSI			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Peltikate	-	0,00085	0,095
Kattoruoteet 45x71	350	0,009129	0,046
Tuuletusrimat 12x45	960	0,000563	0,003
<b>Yhteensä</b>			<b>0,144 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Vaakaprojektioksi muutettuna</b>			<b>0,151 kN/m<sup>2</sup></b>
k677 NORJA			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Peltikate	-	0,00085	0,095
Kattoruoteet 45x71	350	0,009129	0,046
Tuuletusrimat 12x45	677	0,000798	0,004
<b>Yhteensä</b>			<b>0,145 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Vaakaprojektioksi muutettuna</b>			<b>0,153 kN/m<sup>2</sup></b>

YLÄPOHJA			
k677 NORJA			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Ristikko TE19	677		0,152
Puhallusvilla 400 mm	-	0,40	0,100
Levyvilla 100 mm	100	0,10	0,015
Harvalaudoitus 22x90	300	0,01	0,033
Pinnoitettu lastulevy 12 mm	-	0,01	0,078
<b>Yhteensä</b>			<b>0,378 kN/m<sup>2</sup></b>
k960 SUOMI JA RUOTSI			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Ristikko TE19	960		0,108
Puhallusvilla 400 mm	-	0,40	0,100
Levyvilla 100 mm	100	0,10	0,015
Harvalaudoitus 22x90	300	0,01	0,033
Pinnoitettu lastulevy 12 mm	-	0,01	0,078
<b>Yhteensä</b>			<b>0,334 kN/m<sup>2</sup></b>

ULKOSEINÄ			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Lastulevy	-	0,00977	0,064
Pystyrunko 45x68	600	0,007493	0,037
Min.villa KL37 70 mm	600	0,06	0,009
Höyrinsulku 0,15 mm	-	-	-
Pystyrunko 45x170	600	0,01393	0,070
Mineraalivilla KL37 170 mm	600	0,15	0,023
Vaakarunko 45x68	600		0,015
Mineraalivilla KL37 70 mm	-	0,063689	0,010
Tuulensuojakangas	-	-	-
Tuuletusrimoitus 28x45	600	0,003098	0,000
Ulkoverhous	150	0,024267	0,121
			<b>0,350 kN/m<sup>2</sup></b>

KANTAVA VÄLISEINÄ			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Lastulevy	-	0,01	0,065
Pystyrunko 45x68 C18	300	0,013474	0,067
Lastulevy	-	0,01	0,065
			<b>0,197 kN/m<sup>2</sup></b>

VÄLIPOHJA			
Nimi	k/k [mm]	Tilavuus [m <sup>3</sup> /m]	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
Lastulevy 25 mm	-	0,025	0,163
Palkisto Kerto-S 42x260	600	0,02	0,091
Mineraalivilla KL37 260 mm	600	0,24	0,036
Harvalaudoitus 22x90	300	0,01	0,033
Pinnoitettu lastulevy 12 mm	-	0,012	0,078
			<b>0,401 kN/m<sup>2</sup></b>

(Älvsbyhus AB 2018j.)

**Kattotuolien kannatuspalkin mitoituksen lähtötiedot****Suomi**

Neliökuormat:

$$g_{yp} := 0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Yläpohjan omapaino}$$

$$g_{räystäs} := 0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Räystäsrakenteiden omapaino}$$

$$q_{lumik} := 0.8 \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Lumikuorma katolla}$$

Kuormitusleveydet:

$$L_{ristikko} := 8.601\text{m} \quad \text{Ristikön jänneväli}$$

$$k_{räystäs} := 0.484\text{m} \quad \text{Räystään kuormitusleveys}$$

$$s_{ristikko.pääty} := 970\text{mm} \quad \text{Kattoristikoiden k/k-väli päätyalueilla}$$

$$s_{ristikko.keski} := 950\text{mm} \quad \text{Kattoristikoiden k/k-väli keskialueilla}$$

Pistekuormat päätyalueilla:

$$F_{g,yp.pääty} := \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot s_{ristikko.pääty} \cdot g_{yp} + k_{räystäs} \cdot s_{ristikko.pääty} \cdot g_{räystäs} = 2.227 \cdot \text{kN}$$

$$F_{q,lumi.pääty} := \left( \frac{L_{ristikko}}{2} + k_{räystäs} \right) \cdot s_{ristikko.pääty} \cdot q_{lumik} = 11.138 \cdot \text{kN}$$

Pistekuormat keskialueilla:

$$F_{g,yp.keski} := \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot s_{ristikko.keski} \cdot g_{yp} + k_{räystäs} \cdot s_{ristikko.keski} \cdot g_{räystäs} = 2.181 \cdot \text{kN}$$

$$F_{q,lumi.keski} := \left( \frac{L_{ristikko}}{2} + k_{räystäs} \right) \cdot s_{ristikko.keski} \cdot q_{lumik} = 10.909 \cdot \text{kN}$$

**Ruotsi:**

Neliökuormat:

$$g_{yp} := 0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Yläpohjan omapaino}$$

$$g_{räystäs} := 0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Räystäsrakenteiden omapaino}$$

$$q_{lumik} := \left[ 0.8 + \left( \frac{0.3}{22.5} \right) \cdot 18.43 \right] \cdot 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3.66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Lumikuorma katolla}$$

Kuormitusleveydet:

## Liite 5/2

$L_{\text{ristikko}} := 8.601\text{m}$	Ristikön jänneväli
$k_{\text{räystäs}} := 0.484\text{m}$	Räystään kuormitusleveys
$s_{\text{ristikko.pääty}} := 970\text{mm}$	Kattoristikoiden k/k-väli päätyalueilla
$s_{\text{ristikko.keski}} := 950\text{mm}$	Kattoristikoiden k/k-väli keskialueilla

Pistekuormat päätyalueilla:

$$F_{g_{yp.pääty}} := \frac{L_{\text{ristikko}}}{2} \cdot s_{\text{ristikko.pääty}} \cdot g_{yp} + k_{\text{räystäs}} \cdot s_{\text{ristikko.pääty}} \cdot g_{\text{räystäs}} = 2.227 \cdot \text{kN}$$

$$F_{q_{lumi.pääty}} := \left( \frac{L_{\text{ristikko}}}{2} + k_{\text{räystäs}} \right) \cdot s_{\text{ristikko.pääty}} \cdot q_{\text{lumik}} = 16.986 \cdot \text{kN}$$

Pistekuormat keskialueilla:

$$F_{g_{yp.keski}} := \frac{L_{\text{ristikko}}}{2} \cdot s_{\text{ristikko.keski}} \cdot g_{yp} + k_{\text{räystäs}} \cdot s_{\text{ristikko.keski}} \cdot g_{\text{räystäs}} = 2.181 \cdot \text{kN}$$

$$F_{q_{lumi.keski}} := \left( \frac{L_{\text{ristikko}}}{2} + k_{\text{räystäs}} \right) \cdot s_{\text{ristikko.keski}} \cdot q_{\text{lumik}} = 16.636 \cdot \text{kN}$$

### Norja:

Neliökuormat:

$$g_{yp} := 0.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Yläpohjan omapaino}$$

$$g_{\text{räystäs}} := 0.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Räystäsrakenteiden omapaino}$$

$$q_{\text{lumik}} := 0.8 \cdot 4.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Lumikuorma katolla}$$

Kuormitusleveydet:

$L_{\text{ristikko}} := 8.601\text{m}$	Ristikön jänneväli
$k_{\text{räystäs}} := 0.484\text{m}$	Räystään kuormitusleveys
$s_{\text{ristikko.pääty}} := 725\text{mm}$	Kattoristikoiden k/k-väli päätyalueilla
$s_{\text{ristikko.keski}} := 713\text{mm}$	Kattoristikoiden k/k-väli keskialueilla

Pistekuormat päätyalueilla:

$$F_{g_{yp.pääty}} := \frac{L_{\text{ristikko}}}{2} \cdot s_{\text{ristikko.pääty}} \cdot g_{yp} + k_{\text{räystäs}} \cdot s_{\text{ristikko.pääty}} \cdot g_{\text{räystäs}} = 2.132 \cdot \text{kN}$$

$$F_{q_{lumi.pääty}} := \left( \frac{L_{\text{ristikko}}}{2} + k_{\text{räystäs}} \right) \cdot s_{\text{ristikko.pääty}} \cdot q_{\text{lumik}} = 12.488 \cdot \text{kN}$$

Liite 5/3

Pistekuormat keskialueilla:

$$F_{gyp,keski} := \frac{L_{ristikko}}{2} \cdot s_{ristikko,keski} \cdot g_{yp} + k_{räystäs} \cdot s_{ristikko,keski} \cdot g_{räystäs} = 2.097 \cdot \text{kN}$$

$$F_{q,lumi,keski} := \left( \frac{L_{ristikko}}{2} + k_{räystäs} \right) \cdot s_{ristikko,keski} \cdot q_{lumi} = 12.281 \cdot \text{kN}$$